المجلد 21 ـ العدد 12
ديسمبر (كانون الأول) 2005

SCIENTIFIC AMERICAN
December 2005

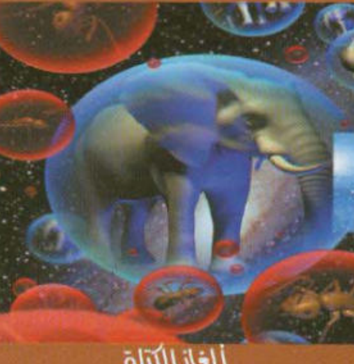
مجلة العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

هل كانت الأرض باردة في بداية تكونها؟

العدد 212 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

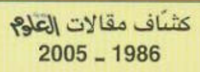


مستقبل الخلايا الجذعية



ألغاز الكتلة

أوجه المريخ المتعددة



كشاف مقالات العلوم
2005 ـ 1986

«مجلة العلوم» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

المقالات

ترجمة أو مراجعة



عدنان الحموي
هاني رزق
برهان العابد
عمر الملوك

أوجه المريخ المتعددة[*]

على سطح المريخ، رصدت مركبة جوالة صحراءَ قديمة العهد، ورصدت مركبة أخرى عالما كان مائيا. إن التنوع على الكوكب الأحمر يضاهي التنوع على الكرة الأرضية.

<Ph. R.> كريستنسن

يتوجه كثير من الناس إلى الصحارى لبساطتها وخلائها، لكنني أذهب إليها لتعقيدها. فصخور غرب الأريزونا، حيث أعمل، تكشف عن أكثر التواريخ تعقيدا على الأرض. وتبين طبقات الأحجار الجيرية الكربوناتية، والأحجار الطينية السلتية[1]، ورمل الكوارتز، والحمم البركانية (اللابة) المتصلبة[2]، أنه على مدى الستمئة مليون سنة الماضية، كانت هذه المنطقة بحرا دافئا ضحلا، ثم صارت مستنقعا موحلا، ثم صحراءً مترامية الأطراف ذات كثبان رملية برّاقة، ثم صفيحة جليدية شديدة البرودة، ثم أصبحت بحرا ضحلا مرة أخرى. وقد كوّنت البراكين الثائرة جزرا مثل اليابان، التي دُفِعَتْ بدورها 100 ميل إلى اليابسة على طول صدوع ضخمة، وهذا أدى إلى إمالة طبقات الصخور على حافتها صاهرا لها، ليتولّد الرخام والكوارتزايت[3]. وفي النهاية أنتج نتوءُ القشرة الأرضية وعوامل **الحت** erosion، هذه الصحراء الشاسعة التي نراها اليوم.

ولمدة طويلة، اعتبر هذا النمط من إعادة التكوين التاريخيّ المفصل للمريخ أمرا مستحيلا. وعلى مدى عمري الذي عشته، تحولَ الكوكبُ الأحمر من نقطة في السماء الليلية إلى أرض تضم براكين شاهقة، وقيعان أنهار جافة، وبحيرات قديمة، وسهولا حمميّة تذروها الرياح. من الواضح أن للمريخ واحدا من أروع تواريخ النظام الشمسي. ومع ذلك لم يستطع العلماء عمل أكثر من تجميع مسودة لتخوم هذا التاريخ. وعلى مدى سنوات، دار بيننا جدال حول مسائل معقدة: هل كان المريخ في وقت ما «دافئا ورطبا» وشبيهًا بأرضنا، أم كان «باردا وجافا» وقاحلا مثل القمر؟. كما لو كانت قصة عَالَم كامل يمكن اختصارها إلى عبارة موجزة.

ومع ذلك، فقد دخلنا خلال العقد الماضي الحقبة الثالثة العظمى لاستكشاف المريخ، وهي التي أعقبت حقبتين تميّزتا بأرصاد القرن التاسع عشر المقرابية، واستعمال السفن الفضائية الأولى لريادة الفضاء في ستينات وسبعينات القرن الماضي. وقد رسمت بعثاتُ السفن المدارية والجوالة الحديثة التي أُرسلت إلى الكوكب، طوبوغرافيته، وحدّدت معادنه، وصوّرت سطحه بتفصيل كاف لتفسير عملياته الجيولوجية، ثم مزجت البيانات المدارية بحقائق الأرصاد الأرضية. وأخيرا أصبح المريخُ مكانا يمكنني سرد قصته من خلال دراستي الجيولوجية لصخوره ومعادنه وأشكال الأرض فيه.

إن ما اكتشفناه هو أن المريخ تعرّض عبر تاريخه لعمليات وظروف بالغة التنوع. وقد احتضن المريخ، الذي نحن بصدد تعرّفه، بيئات مختلفة: من جفاف كامل، إلى رطوبة شديدة، إلى التحاف بدثار من ثلج وجليد. ولم تعد التعبيرات البسيطة مناسبة. وبدلا من أن نسأل: «دافئ» أم «بارد»؟، نسأل: كم هو دافئ؟ كم هو رطب؟ وعلى مدى كم من الزمن؟ وأين؟. وتركز الإجابات الشافية عن هذه الأسئلة، على ما يجذب كثيرا منا لدراسة الكوكب الأحمر، وبخاصة احتمال وجود حياة عليه، الآن أو فيما مضى.

نظرة إجمالية/ غرائب مريخية[**]

- ظلت المرْكبتان سپيريت وأپورتيونيتي تجولان في أرجاء المريخ طوال سنة ونصف، في حين رسمت ثلاث سفن مدارية طوبوغرافيةَ الكوكب وحددت مكوناته المعدنيّة بدقة لم تكن متيسرة حينذاك إلا للقياسات الأرضيَة.
- قبل هاتين البعثتين، كانت الأدلة الأساسية على وجود سابق للماء على المريخ تستند إلى أشكال تضاريسه (أشكال الأرض فيه). ومع أن هذه التضاريس موحيَة، لكنها غامضة. أما الآن، فالأدلة الأساسية تعدينية (وجود أكاسيد الحديد وأملاح الكبريتات)، ونسيجية textural (وجود كريات، وعلامات النِّيم ripples[4] في صخر الأساس)، مما لا يدع مجالا للشك في أن موقع هبوط أپورتيونيتي قاع بحيرة قديمة.
- ومع ذلك، فإن التاريخ الجيولوجي للكوكب شهد تغيرات هائلة، ومن الغريب أن تكون هذه التغيرات متعلقة بالمكان والزمان. فنادرا ما شهد معظم الكوكب قطرة ماء؛ وحتى الموقع الذي هبطت فيه المركبة أپورتيونيتي، مرّ بفترات جفاف طويلة الأمد. وثمة معالمُ جيولوجية أخرى مثل البراكين، تختلف أيضا فيما بينها اختلافات غير متوقعة.

(*) العنوان الأصلي: THE MANY FACES OF MARS

(**) Overview/ Martian Oddities

(1) silty mudstones

(2) solidified lava

(3) quartzite، صخر متحول حُبيبي يتكون من الكوارتز.

(4) نمط سطحي على المواد الرسوبية غير المتماسكة، خصوصا الرمل السائب، يتألف من حيود وحزوز متناوبة تنشأ عن تأثير الرياح أو الماء. (التحرير)



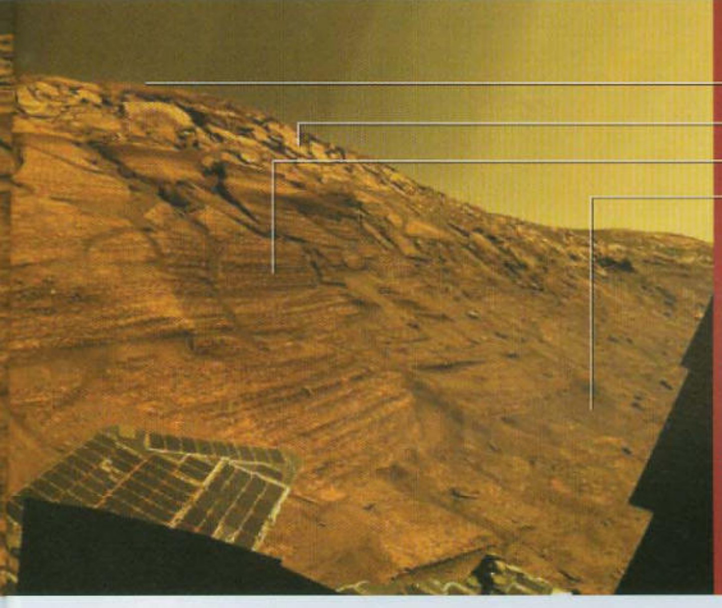
شروق الشمس على البقعة المسماة أرابيا تيرا Arabia Terra، عند النظر شرقا تجاه يوتوبيا پلانيتيا Utopia Planitia: وتبين الصورة التي رسمها فنان نقلا عن صور مدارية، حافات منطقة ڤاستيتاس بوريياليس Vastitas Borealis، وهو سهل فسيح منخفض، ربما كانت تصب فيه فيضانات القنوات المائية القديمة. وترسل الشمس أشعتها الأولى ناحية المركز، على حافة فوهة ليُو Lyot الغربية.

مكانان ومنظران[*]

في الشهر 2004/1، أنزلت وكالةُ ناسا، في موقعين مختلفين جدا على المريخ، اثنتين من أعقد الآلات التي صُنعت حتى الآن، هما المركبتان الجوالتان سپيريت Spirit وأُپورتيونيتي Opportunity، اللتان حملتا على متنيهما مجموعة من الكاميرات والمقاييس الطيفية لدراسة تركيب التربة والصخور، بقصد الإجابة عن السؤال الرئيسي المتعلق بجيولوجية المريخ: ماذا كان دور الماء؟. أما المركبة سپيريت، فقد هبطت في **فوهة كوزيڤ** Gusev Crater، التي اختيرت لشكل تضاريسها، إذ بيّنت الصور المدارية التي أخذت للفوهة أن ثمة واديا، هو مآديم[1]، يفضي إلى الفوهة، كما لو كانت فوهة كوزيڤ بحيرة يوما ما.

في بداية الأمر، بدا هذا الموقع مخيبا للآمال إلى حد ما، إذ لم تعثر المركبة سپيريت على علامات على وجود ماء في الماضي، وكان ما رأته صخورا بركانية، بينت مقاييس الطيف في المركبة سپيريت أنها مكونة من **الزبرجد الزيتوني** olivine، و**الپيروكسين** pyroxene، وهما معدنان يمكن أن يتحللا بفعل أقل قدر من الماء السائل. ولا يمكن أن تكون الصخور قد تعرّضت في الثلاثة بلايين سنة أو نحوها التي أعقبت ثورات البراكين، لقدر ذي بال من المياه. وفيما كانت الجوالة سپيريت تتسلق تلال كولومبيا[2]، التي تشرف على موقع الهبوط، صار الوضع أكثر إثارة للاهتمام، حيث اكتشفت

(*) Two Places, Two Views
(1) Ma'adim
(2) Columbia Hills



جُرْفُ بيرنز، هو منكشف صخري رائع، تفحصته المركبة أپورتيونيتي بإمعان. يبلغ ارتفاعه ارتفاع مبنى من ثلاثة طوابق، ويشكل جزءا من حافة فوهة إنْدُيُورانْس Endurance، التي تبعد مسافة 700 متر تقريبا عن موقع هبوط الجوالة. وتشبه الصخور العلوية لهذا الجرف، الصخور الموجودة في موقع الهبوط وهي غنية بأملاح الكبريتات *[اللونان الأحمر والأصفر في الصورة الملوّنة اصطناعيا]*، وربما جرى تكوّنها ثم جفافها خلال الفيضانات المتكررة في تلك المنطقة. ويُرى تحتها طبقات ناعمة وخشنة ـ وهي مزيج *(اللون الأخضر)* من الهيماتايت المعدني المرتبط بالماء ومن المعادن البازلتية الكارهة للماء. ويبدو أنها كثبان رملية كانت جافة عموما، ولكنها كانت قريبة من حوض مائي. ويغطي قاع الفوهة رمل بازلتيّ *(اللون الأزرق)*.

الجوالةُ كميات وفيرة من أملاح الكبريت. ومن الواضح أن الصخور البركانية سُحِقَتْ متحوِّلة إلى حبيبات صغيرة، ثم لَصَق الملح بعضَها ببعض، وهذه عملية قد يشارك فيها ماء سائل يتخلل الصخور، أو حمض كبريتيك يتفاعل مع المعادن الموجودة أصلا في الصخور. وعلى الرغم من هذه الإشارة الضمنية إلى الماء، فمازالت الصخور تحوي مقادير كبيرة من الزبرجد الزيتوني والپيروكسين. وهكذا يبدو أن الماء ـ الذي ربما وجد على قاع بحيرة في وقت ما ـ أدى دورا ثانويا خلال بلايين السنين القليلة الماضية.

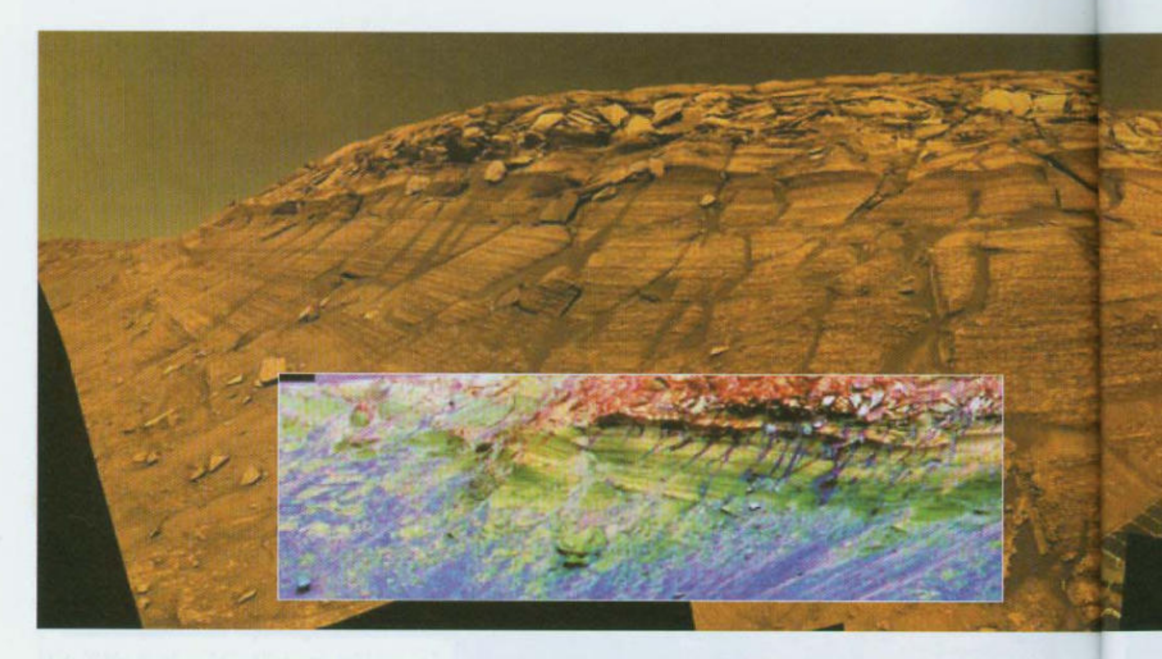
أما المَرْكبة الجوّالة أپورتيونيتي، فقد وُجِّهت إلى سهول ميريدياني. وكان اختيار هذا الموقع نقطة انطلاق عصر جديد في تاريخ استكشاف البشرية للنظام الشمسي: فلم يسبق لعلماء الكواكب إرسال مجس إلى موقع للتنقيب عن معادنه. صحيح أن بعثات السفن الفضائية المبكِّرة للمريخ حدّدت تركيب سطحه بدلالة العناصر الكيميائية، لكن معرفة المعادن ـ المركّبات والبُنى البلّورية التي كوّنتها تلك العناصر ـ كانت تتطلب استعمال المقياس الطيفي للانبعاث الحراري[1] (TES)، وهو آلة ابْتَكَرْتُها لسفينة المسح الشامل المدارية[2]، التابعة للوكالة ناسا، والتي وصلت إلى الكوكب عام 1997. وفي خرائط توزيع المعادن التي أعددناها، تميزت سهول ميريدياني بوفرة عالية من **الهيماتايت المتبلور** crystalline hematite.

إن أكسيد الحديد هذا (الهيماتايت)، الشائع على الكرة الأرضية، يتكون بعدّة عمليات يدخل الماء في معظمها. إحداها عمليّة **ترسيب** precipitation من موائع تجري عبر **رسوبيات** sediments، وثانيتها عملية ترسيب من خلال انتزاع الماء من معادن الحديد الحاملة للماء، مثل **أكسيد الحديد المائي (الجيوثيت)** goethite، وهو معدن ذو لون بني ضارب إلى الحمرة، يوجد في كثير من التُّرَب الصحراوية. وقد بدت صخور الميريدياني الغنية بالهيماتايت في طبقات رقيقة سهلة التآكل، استقرت فوق السطح الأقدم الغني بالفوهات البركانية، مما يوحي بأنها تراكمات رسوبية. وقد ملأت قنواتٍ قديمة ومناطق أخرى ذات طوبوغرافية منخفضة، مما يشير إلى أن هذه الصخور ترسبت في الماء، ولم تكن رمادًا بركانيًا أو غبارًا تذروه الرياح.

بعد أيام من هبوطها، أكدت المركبة أپورتيونيتي، أن سهول ميريدياني كانت ذات يوم مغمورة بالمياه. وقد اكتشفت فورًا **منكشفات صخرية** outcrops تضم صخورا رسوبية **طباقية** layered، شوهدت لأول مرة على المريخ. كانت هذه الصخور ممتلئة بالكبريتات ـ 30 إلى 40 في المئة من وزنها ـ ولا يُفَسَّرُ هذا إلاّ بتبخر الماء الغنيّ بالكبريت. هذا ولم تكن الكبريتات في فوهة گوزيڤ كثيفة. واتخذ الهيماتايت شكل كرات (أطلق عليها اسم «**العِنَبِيَّات**» blueberriers)، تراوح أقطارها بين مليمتر واحد وخمسة مليمترات، وكانت مطمورة في طبقات الصخور، ومبعثرة على الأرض كلها.

إن أكبر منكشف صخري كشفته المركبة أپورتيونيتي ـ وهو الذي سُمِّي **جُرف بيرنز** Burns Cliff ـ بدا كسلسلة من كثبان رملية بللتها مياه سطحية وجوفية. ويتكون كثير من الحبيبات من كبريتات، تكوّنت نتيجة تبخر الماء الراكد، الذي ربما وجد في مناطقَ منبسطة (تسمّى غَوْطات أو **سبخات صحراوية** playas) واقعة بين تلك الكثبان. وقياسا على معالم مشابهة على الأرض، فقد استغرق تكوّنُ صخورِ جُرْفِ بيرنز مدة تراوح بين آلاف ومئات الآلاف من السنين. وربما تكوّنت حبيبات الهيماتايت الكروية في وقت لاحق من موائع غنية بالحديد، منسابة عبر الرسوبيات. ولأول مرة، يدرس

(1) Thermal Emission Spectrometer
(2) Mars Global Surveyor Orbiter



العلماءُ منكشفا[1] صخريا على المريخ، وذلك بالطريقة المتعددة الأوجه التي يتبعها الجيولوجيون على كوكب الأرض.

بل إن مورفولوجية سهول ميريدياني، وهي أحد أكثر المواقع انبساطا، من بين جميع المواقع التي رُصدت على أي كوكب، تشبه قاع بحيرة. ويوحي الامتداد الواسع للهيماتايت، الذي رُصد من السفينة المدارية، بأنها كانت بحيرة كبيرة منعزلة أو بحرا صغيرا، أكثر من كونها جزءا من محيط شامل. وتحتوي عدة فوهات واقعة جنوب وغرب رواسب الهيماتايت الرئيسية كما تحوي صخورا طبقية غنية بالهيماتايت، وربما كانت بحيرات منفصلة.

ومجمل القول، إن الأمور بدت وكأنّ المَرْكبتين الجوالتين هبطتا على كوكبين مختلفين تماما: أحدهما أشد جفافا من أي صحراء على الأرض، والآخر أرض تعجّ بآلاف البحيرات. فهل هذان هما الاحتمالان الوحيدان، أم أن جيولوجية المريخ أكثر تنوعًا من ذلك؟ وهل يمثّل هذان الموقعان، اللذان يفصلهما آلاف الكيلومترات، النسق (المدى) الكليّ لمكونات الصخور، والنشاط المائي على المريخ؟. للإجابة عن هذه الأسئلة الكبيرة، نظر العلماء من جديد إلى بيانات السفن المدارية حول المريخ.

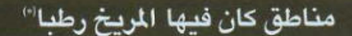
أرض الحمم(*)

خلال السنوات الثماني الماضية، اكتشف مقياس طيف الانبعاث الحراري TES أن جميع الصخور والرمال المريخية تقريبا مكوّنة من المعادن البركانية: **الفِلْسْبار** feldspar (سيليكات الألمنيوم)، والبيروكسين والزبرجد الزيتوني - وهي مكوّنات **البازلت** basalt.

وفي ربيع عام 2004، شاركت في الجهود المبذولة سفينةُ وكالة الفضاء الأوروبية مارس إكسبرس المدارية[2] - الحاملة لمقياس طيف الإشعاع تحت الأحمر القريب[3] أوميگا OMEGA - وبينت السفينةُ الوجودَ الواسع لهذه المعادن. وقد جرى التوصل إلى أن الزبرجد الزيتوني موجود تحت السطح بعمق يتجاوز 4.5 كيلومتر، وذلك في جدران منظومة **خانق ڤاليس مارينيريس** Valles Marineris Canyon. وهو يظهر في جميع أنحاء السهول الاستوائية بما في ذلك قيعان القنوات. ولم يكن اكتشاف البازلت، الذي يغطي أيضا قسما كبيرا من أرضنا وقمرنا، مفاجأة كبيرة. فالحمم (اللابة) التي تنز عبر هاواي هي من البازلت - وهي نمط بدائي - تكوّنت في المرحلة الأولى لانصهار دثار الكوكب. وتنبثق الحمم على الأرض باستمرار من سلاسل التلال الموجودة في منتصف أرضية المحيطات لتكوّن قيعانها.

بيد أن هناك اكتشافا آخر لم يكن متوقّعا. ففي حين أن الصخور في الأراضي القديمة الغنية بفوهات البراكين كانت من البازلت، فإن الصخور الأحدث الموجودة في الأراضي المنخفضة الشمالية شابهت نمطًا أكثر تطورًا من الحمم يسمى **أنْديسايت** andesite. فقد احتوت هذه الصخور قدرا أكبر من الزجاج والمعادن الغنية بالسيليكا، وقدرا أقل من المعادن الحاوية على الحديد. وعلى كوكب الأرض، تتكوّن الأنديسايتات عادة حينما تمزجُ الصفائحُ التكتونيةُ الهابطةُ الماءَ بالصخور المنصهرة الواقعة تحت سطح الأرض. هذا ويعتبر الوجود المحتمل للأنديسايتات على المريخ أمرا مثيرا، فقد يشير إلى أن دثار المريخ أكثر ابتلالا من دثار الأرض، أو أن الحمم الحديثة انصهرت تحت درجات

(*) Lava Land
(1) outcrop
(2) Mars Express orbiter
(3) near-infrared spectrometer



مناطق كان فيها المريخ رطبا[*]

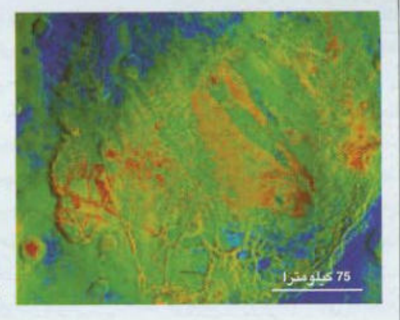
تُظْهِرُ بانوراما فوهة النسر[1]، حيث حَطّتْ أپورتيونيتي، كميات متباينة من معدن الهيماتيت المرتبط بالماء، تراوح بين كميات قليلة (الأزرق) وكميّات كبيرة (الأحمر). والرقع الزرقاء في مقدمة الصورة، هي علامات قطرها قرابة متر، خلفتها المَرْكَبة الجوالة أثناء هبوطها. أما المناطق البيضاء في المؤخرة فهي منكشفات صخرية مثل منكشف الكاپِتّان El Capitan [الإطار]: وعند إجراء فحص مفصّل لها، وُجِدَ أنها مؤلفة من رسوبيات مائية من الكبريتات والهيماتايت.



«**العنبيَات**» هي كريات صغيرة، بحجم ثمر العنبيَات، مبعثرة في أرجاء موقع الهبوط. وقد سمح تركيزها العالي في **الصخرة المسماة** Berry Bowl [المبينة هنا بألوان صنعية]، للجوالة بالحصول على سجل لتركيبها: فهي هيماتايت ربّما ترسّبَ من الماء في الفراغات المساميةَ لرسوبيات قاع بحيرة.



تبيّن الصور المجهرية حبات بحجم ثمر التوت في التربة (*في اليسار*) مطمورة في صخرة تدعى Upper Dells (*في الأعلى*). والصخرة مخططة بطبقات سمكها مليمتر واحد، ينم شكلها عن أنها ترسبت في ماء جار.



أرام كاؤوس[2] هو فوهة صدم ممتلئة بالهيماتايت، مثل موقع هبوط المركبة أپورتيونيتي. وتشير درجات الحرارة الليليّة التي قاستها سفينة مارس أوديسي المدارية، إلى قوام الفوهة المادي: فالدافئ [*الأحمر*] يعني صخرا، والبارد [*الأزرق*] يعني غبارا ورملا. ويبدو أن الصخور المنبسطة في مركز الفوهة [*البرتقالي*] هي ترسيبات قاع البحيرة. وتشير التضاريس المتقطّعة في الجنوب إلى أن الأرض انهارت فجأة، ربما عندما اندفعت المياه تحت السطحية إلى الخارج.

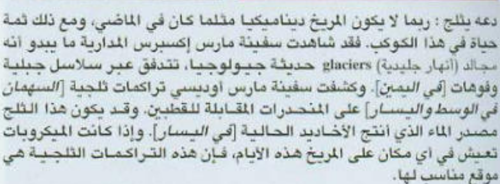
حرارة أو تحتَ ضغوط مختلفة عن تلك المتعلقة بالبازلتات القديمة. وللتأكد، يقترح بعض العلماء أن الأنديسايتات المفترضة هي «بازلتات متنكِّرة»، إذ يمكن لضباب مائي أو حامضي، أن يتفاعل مع المعادن، لينتج **قشرة رقيقة خارجية** veneer شبيهة بالأنديسايت. وقد يتعين على الباحثين انتظارُ نتائجِ دراسات مفصلّة لسطوح هذه الصخور، لحل هذه المسألة.

إن لمقياس طيف الانبعاث الحراري TES **مَيْزا** resolution (قوة تفريق فضائي) منخفضا إلى حدٍّ ما، فمدى **البيكْسل** (**العنصورة**) pixel الواحد عدة كيلومترات. لذا لم يبدأ التنوعُ الحقيقيُّ لعلم المعادن المريخيّ بالوضوح إلاّ عام 2001، عندما شرعت آلةُ التصوير تحت الحمراء، ثيميس THEMIS (التي ابتكَرَتْها مجموعتي البحثية لسفينة مدارية أخرى تابعة لوكالة ناسا) هي مارس أوديسي[3] ـ في رسم الكوكب بميز قدره 100 متر. وقد بيّنت هذه الكاميرا، مع المقياس أوميگا، مجموعة متنوعة من مكونات صخور نارية، تناظر مثيلاتها على الأرض.

وقريبا من خط الاستواء المريخي يوجد بركانٌ قطره 1100 كيلومتر يسمى سيرتِس ميجر[4] تصطفّ على ذروته سلسلة من الفوهات الخامدة أو **الكالديرات** calderas. ويتكون معظم البركان من

(*) Where Mars Was Wet
(1) Panorama of Eagle Crater
(2) Aram Chaos
(3) Mars Odyssey
(4) Syrtis Major







دعه يثلج: ربما لا يكون المريخ ديناميكيا مثلما كان في الماضي، ومع ذلك ثمة حياة في هذا الكوكب. فقد شاهدت سفينة مارس إكسبرس المدارية ما يبدو أنه مجالد (أنهار جليدية) glaciers حديثة جيولوجيا، تتدفق عبر سلاسل جبلية وفوهات [*في اليمين*]. وكشفت سفينة مارس أوديسي تراكمات ثلجية [*السهمان في الوسط واليسار*] على المنحدرات المقابلة للقطبين. وقد يكون هذا الثلج مصدر الماء الذي أنتج الأخاديد الحالية [*في اليسار*]. وإذا كانت الميكروبات تعيش في اي مكان على المريخ هذه الأيام، فإن هذه التراكمات الثلجية هي موقع مناسب لها.

البازلت، لكنّ المنحدرات مرقّطة بمخاريط وتدفقات حممية مكوّنة من حمم زجاجية غنية بالسيليكون تسمى **داسيّتات** dacites. ويتكون هذا النمط الصخري في **حجيرات الصهير** magma chamber القابعة تحت البراكين. فعندما يبرد الصهير، يكّون معدنا الزبرجد الزيتوني والپيروكسين، الغنيّان بالحديد والمغنيسيوم، هما أول ما يتبلور. ويستقران في قاع حجيرات الصهير، تاركيْن الصهير المتبقي غنيًا بالسيليكا والألمنيوم ـ وهو الذي تبرز منه الداسيتات. وتتكون الذُرا المركزية لكثير من الفوهات الموجودة على جوانب سيرتِس ميجر من صخور أكثر غنى بالسيليكا، هي صخور الغرانيت، التي ربّما تشكلت بالانفصال الكامل للبلورات، أو بإعادة صهر البازلت القديم على نطاق واسع.

وقد خلص الباحثون إلى أن هذا البركان مرّ بمراحل تطورية عديدة. ففي البداية، انبثقت الحمم البازلتية من المركز وكوّنت البركان. ومع تطور الصهير كيميائيا، بدأت بالخروج من الحجرة الواقعة تحت الذروة، مسببة انهيار الأرض، ومغذية الانبثاقات على جوانب البركان. ولا تتميز البراكين المريخية بالضخامة فحسب، ولكنها أيضا معقدة بدرجة مذهلة.

وسوف تسقط أمطار خفيفة(*)

إن ما يفتقر إليه المريخ لا يقل أهمية عما يحتويه. إن الكوارتز الموجود بكثرة على الأرض، نادر جدا على المريخ، مما يشير إلى ندرة الغرانيت، الذي يتكون منه الكوارتز، على المريخ. ثم إنه لا دليلَ على وجود المعادن المتحولة(1) مثل **الأَرْدُوَاز** slate أو الرخام، التي تتكوّن عندما تخضع الصخور البركانية أو الرسوبية إلى ضغوط ودرجات حرارة عالية. والاستنتاج الرئيسيّ لهذه الحقائق هو أن **تكتونية**(2) tectonic المريخ غير قادرة على دفع الصخور إلى أعماق كبيرة (حيث تُسَخَّن وتُكبَس) ثم إعادتها للسطح ثانية.

تحوي الكرة الأرضيةُ مخزونات هائلة من الصخور الكربوناتية مثل حجر الجير، الذي ترسّب في محيطات دافئة غنية بثنائي أكسيد الكربون. ويَرى علماءُ الكواكب أن المريخ كان عادة أدفأ وأرطب، ومن ثم لابد أن يحوي أيضا طبقات سميكة من الكربونات، لكنْ لم يكتشف شيء منها. وهذا يعني أن أي محيطات على الكوكب كانت إما باردة أو قصيرة الأمد أو مغطاة بالجليد، أو طاردة للكربونات لسبب أو آخر. ويحوي الغبار المنتشر في كل مكان كميات قليلة من الكربونات، ربما تكوّنت بالتآثر المباشر مع بخار الماء الموجود في الجو، وليس بالتآثر مع الماء السائل على السطح. وثمة طائفة أخرى من المعادن المرتبطة بالماء، هي الأطيان (جمع طين)، يندر وجودها أيضا على المريخ ـ مما يوحي ثانية بأن الكوكب كان في معظمه جافًا. وينسجم هذا الاستنتاج مع الوجود الواسع الانتشار لمعدني الزبرجد الزيتوني والپيروكسين الكارهيْن للماء.

وبهذا المعنى، فإن ما رأته المركبة سپيريت في فوهة گوزيف أكثر تمثيلا للمريخ مما وجدته أپورتيونيتي في ميريدياني. ومع ذلك، فإن ميريدياني ليست المكان الوحيد الذي تظهر فيه البحيرات في الصور المدارية، إذ تحوي فوهة **آرام كاؤوس** Aram Chaos، التي يبلغ قطرها 280 كيلومترا، **مَسيلا** outflow channel مليئا بالصخور الطباقيّة التي تحوي هيماتايت، وتكسو قاع فوهة البركان كتل عملاقة من الصخور. ويبدو الأمر كأن سيلا جارفا من ماء تحت سطحي قد اندفع بعنف، مسببا انهيار التضاريس الفوقيّة، فاستقر بعض الماء في الفوهة، وشكّل طبقات من الرسوبيات الحاوية للهيماتايت.

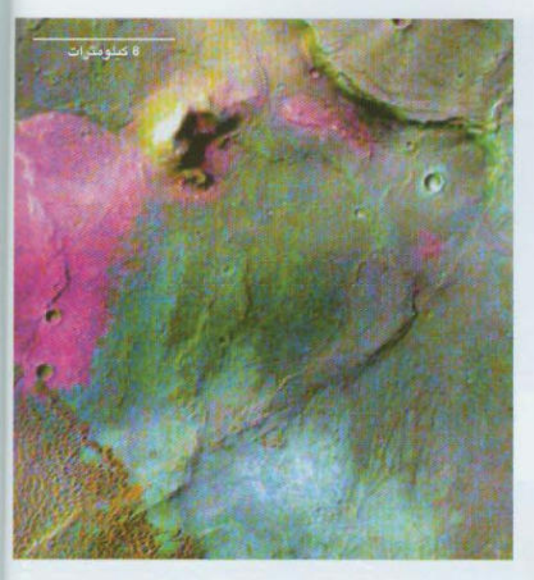
وبالمثل، تحوي أغوار ڤاليس مارينيريس صخورا حاوية للهيماتايت تنتظم في طبقات رقيقة سهلة الحت، وهذا يشبه ما يتوقعه المرء من ترسيبات في مياه راكدة. إن هذه الصخور المنتشرة مع غيرها في المنطقة الاستوائية، غنية بالكبريتات، وهي إشارة خفيّة إلى رسوبيّات ماء راكد. وربما تكون البحيرات قد مرت بأحداث عديدة من إغراق بالماء، ثم تبخير (وربما تجميد)، ثم تجفيف.

(*) And There Will Come Soft Rains

(1) metamorphic minerals

(2) tectonics: فرع من الجيولوجيا يعنى بدراسة المعالم الإقليمية التركيبية والتحرفية لقشرة الأرض. (التحرير)

تقع منطقة نيلي باتيرا Nili Patera على ذروة البركان العملاق سيرتس ميجور، وتحتوي على حمم بازلتية قديمة (*الأزرق*)، ومخاريط داسيتية حديثة العهد وتدفقات (*الأحمر*). أما الكثبان الرملية (*البرتقالي*) فهي خليط من هذين النمطين. ويعتبر التبركن المرّيخي أعقد كيميائيا مما توقّعه العلماء.



وإضافة إلى قيعان البحيرات القديمة، هناك مناطق تغشاها شبكات كثيفة من قنوات، كوّنها ـ على ما يبدو ـ سقوط المطر وجريانه فوق السطح. ويجادل بعض الباحثين بوجود محيطات شاسعة على المريخ في السابق، اعتمادا على أن الصور الفوتوغرافية للكوكب وطوبوغرافيّته تشيران إلى وجود شواطئ وقيعان محيطات ملساء.

وجميع هذه الاكتشافات مجتمعة توفر دليلا قويا على أن الماء كان مستقرا في مناطق منعزلة طوال فترات قصيرة الأمد. تُرى، ما هي العوامل التي جعلت الماء يتراكم ويظل مستقرا في هذه المواقع؟ ثمة تخمين قوي يعزو هذه العوامل إلى تأزر حرارة باطن الكوكب، وكميات وفيرة من الملح (الذي يخفض درجة حرارة التجمد)، ووجودُ غطاء واق من الجليد. وربما أدّت صدماتُ النيازك الكبيرة، بين حين وآخر، إلى تدفئة الغلاف الجوي وزيادة سماكته.

لكنْ يبدو أن فكرة تشابه الكوكب في وقت ما بالأرض قد عفا عليها الزمن. فالانطباع السائد من الخرائط التعدينية الشاملة هو أننا حيال سطح قديم، مازال يحتفظ بمعادنه البركانية الأصليّة، غيّره الماءُ قليلا. وحتى في سهول ميريدياني، تدل الرمال البازلتية أعلى بحيرة الرسوبيات، على جفاف الموقع طوال مدة تراوح بين بليونين وثلاثة بلايين سنة. وعلى الرغم من وجود شبكات البحيرات وأشباه الأنهار، فإن الماء ربما جرى فيها مدة قصيرة فقط. ومن المحتمل أن الماء الذي ظلّ مجمّدا طوال معظم الوقت، كان يجري بين الفينة والأخرى، وما يلبث أن يتجمد ثانية. ومع ذلك، مازال علماء الكواكب حائرين في تفسير كيف أن عالمًا كان في عمومه مجدبا إلى هذا الحد، يصبح، في أمكنة وأوقات معينة، مائيا بهذه الدرجة.

كوكب الفصول الطويلة(*)

إن الماضي الملحمي(1) الطويل للمريخ يجعله يحظى بأكبر قدر من الاهتمام، بيد أن ثمة تطورين بعثا الحماس ثانيةً لدراسة نشاطه هذه الأيام. أولهما الإجماع المتعاظم على أن المريخ كان نشيطا جيولوجيًا في الماضي القريب. فمعظم البراكين الضخمة والسهول الحمميّة قديمة، ويعود تاريخها إلى النصف الأول من تاريخ الكوكب، لكنّ غياب فوهات صدم نيزكية على الطفوح البركانية، في مناطق مثل **أثاباسكا** Athabaska، يوحي بأنها حديثة (بالمعايير الجيولوجية)، وأنها نتيجة انبثاقات جرت في ملايين السنين القليلة الماضية. وقد فتّش الباحثون في الصور تحت الحمراء الليليّة عن براكين نشيطة، أو بقاع ساخنة في باطن الأرض، فلم يعثروا حتى الآن على شيء منها. ويبدو أن المريخ قد برُدَ إلى درجة يندر فيها التبركن، رغم تفجّر الحمم على السطح من وقت إلى آخر.

أما التطور الثاني فهو اكتشاف أن المريخ يحوي مستودعات هائلة من الماء المتجمد الذي ينساب في أرجاء الكوكب مع تغيرات مناخه. ومنذ البداية، يحوي كِلا القطبين مخزونات من جليد أو رسوبيات غنية بالجليد، يصل سمكها إلى عدة كيلومترات، وتمتد على مساحة تبلغ نحو ضعف الأريزونا. وقد بيّنت قراءات الحرارة تحت الحمراء في السبعينات من القرن العشرين أن قلنسوة القطب الشمالي هي **جليد مائي** water ice، لكنها لم تحدد تركيب قلنسوة القطب الجنوبي. وتماثل درجةُ حرارة سطحه، درجةَ حرارة ثنائي أكسيد الكربون المتجمد. لكنْ هل يقبع الجليد المائي في الأسفل؟ لقد كشفت قراءات حديثة لدرجات الحرارة، قاسها الجهاز THEMIS وجود جليد مائي ناتئ في أمكنة معينة، ومن ثم يبدو أن الجواب عن هذا السؤال هو نعم.

ويضاف إلى المخزون المائي المعروف، الجليدُ الجوفيُّ، الذي كشفته آلتَا مقياس طيف أشعة كاما ومكشاف النيوترونات العالية الطاقة المحمولتان على السفينة مارس أوديسي، اللتان تقيسان أشعة كاما والنيوترونات الناتجة من تصادم الأشعة الكونية بذرّات في التربة. ويكشف التوزيعُ الطاقيُّ لفوتونات كاما والنيوترونات، عن عناصر تركيب التربة إلى عمق عدة أمتار. فالهدروجين مثلا، يمتصّ النيوترونات بقوة، ومن ثم فإن ندرة النيوترونات تنم عن وجود هدروجين تحت السطح ـ والأكثر احتمالا أنه جزيء الهدروجين H_2 الناتج من الماء H_2O. ويبدو أن الماء في المناطق المحصورة بين خطي عرض 60 درجة وكلٍّ من القطبين، يكوّن أكثر من 50 في المئة من وزن التربة. إن وجود الجليد بهذه الوفرة العالية لا يمكن أن يكون نتيجة لمجرد انتشار بخار الماء من الهواء الجوي إلى مسام التربة. وبدلا من ذلك، لا بد أن يكون الثلج قد اختُزِنَ على شكل صقيع أو جليد.

إن التضاريس غير العادية للأرض، التي شوهدت عبر خطوط العرض الوسطى، تشير أيضا إلى وجود جليد. وثمة تضاريس شبيهة بملعب كرة السلة بين خطي العرض 30 و 50 درجة في كلا نصفي كرتي الكوكب. وربما يتكوّن مثل هذه التضاريس نتيجة

(*) Planet of the Long Seasons

(1) epic past



أبوليناريس باتيرا **Apollinaris Patera**، هو بركان عريض لكنه منخفض، قذف حمما متباينة التكوين. ولربما كان هذا البركانُ مصدرَ الرماد الذي عثرت عليه الجوالةُ سبيريت على بعد 350 كيلومترًا جنوبًا. وجرى حت الرواسب البركانية إلى أعماق كبيرة بوساطة الماء. وقد رصدت سفنُ الفضاء انهيارات قوية في المنطقة.

تسخن التربة وتبخر الجليد، وهذا يؤدي إلى تفتت التربة. ويوجد نمط ثان من الترسبات في تجاويفَ فوق المنحدرات الباردة المواجهة للقطبين، وهي طبقة مادية سمكها عشرةُ أمتار - يُحتمل أن تكون بقايا ثلج مائي نقي إلى حد كبير. وكانت الأخاديد الصغيرة الحديثة العهد التي تنشأ عادة عن جريان المياه بعد المطر - أحد أهم المكتشفات اللافتة للنظر في خطوط العرض الوسطى، وربما كانت نتيجةَ ماء ينبوعي، أو ذوبان للجليد القريب من السطح، أو ذوبان لمقادير وفيرة من ثلج منطلق من أسفل إلى أعلى.

وتوحي جميع هذه المعالم المرتبطة بالماء أن المريخ، مثل الأرض، يمر بدورة من دورات العصور الجليدية. ويتذبذب ميل محور دوران الكوكب حول زاوية تبلغ 20 درجة خلال دورة طولها 000 125 سنة. وعندما يكون الميل صغيرا، يكون القطبان أبرد مكانين على الكوكب، ويسقط عليهما ثلج أكثر مما يتبخر منهما، وتكون المحصلة تراكم الجليد. ومع ازدياد الميل، يستقبل القطبان قسطًا أكبر من ضوء الشمس، ويَسْخُنان على حساب خطوط العرض الوسطى. ويميل الماء إلى الجريان من القطبين تجاه خط الاستواء. ومع تراكم الثلج على السطح، يمكن للماء أن يقطر برفق. وفي أيامنا هذه تَسْخُنُ خطوطُ العرض الوسطى، واختفى معظمُ الغطاء الثلجي. ولو كان نموذج عصر الجليد صحيحا فعلا، فلسوف تعود عصوره خلال ما يراوح بين الـ 000 25 و 000 50 سنة المقبلة.

وقصة معلوماتنا عن كوكب المريخ شبيهة بحكاية المكفوفين الذين يصفون فيلاً: فجيولوجية الكوكب تبدو متغيرة، تبعا للموقع الذي ننظر نحوه. والكوكب مكان غني بالتضاريس، وله حاضر يتسم بدينامية مذهلة، وماضٍ معقد متناقض. وصخورُه البركانيّةُ متنوعة كمثيلاتها على الأرض، وتتباين المظاهر الدالة على وجود الماء تباينا شديدا. كان الكوكبُ عرضة لفيضانات غامرة، وربما لسقوط الأمطار عليه في باكورة تاريخه، ومع ذلك فإن صخورَه القديمة مازالت تحوي معادن تتحلل بسرعة في البيئة الرطبة. والمناخ جاف وبارد، ومع ذلك فإن الجوالة أُبورتيونيتي وجدت نفسها على قاع بحر قديم، مما يشير إلى أن المناخ كان مختلفا جدا. والماءُ السائل غير مستقر في ظل الظروف الحالية، ومع ذلك فقد تكونت أخاديد حديثا، وقد يتواصل تكونها.

يعتبر تنوع البيئات السطحية من مكان لآخر ومن وقت لآخر، أحد أهم المؤشرات الواعدة لدراسة بيولوجية المريخ؛ إذ يوفر مجموعة غنية من البيئات، ربما سمحت بوجود الحياة. فقد كان الماء وفيرا في البحيرات عهودا طويلة، وإنْ كانت متقطعة. وربما دامت هذه المياه مدة طويلة تكفي لكي تدب حياة في المادة غير الحية. ولعل الكائنات الحية مازالت متشبثة بالحياة، وأنها تمر بحالة سبات خلال المراحل الباردة، ثم تنشط عندما تتحسّن الظروف المناخية. وسوف تكون بقايا البقاع الثلجية والأخاديد ومناطق مشابهة أخرى، مكانا رائعا، لتبحث البعثات **الإنسالية**[1] robotic المستقبلية عن حياة فيها. ■

(1) نسبة إلى إنسالة، وهذه نحت من إنسان - آلي. (التحرير)

المؤلف

Philip R. Christensen

بدأ اهتمامُه بعلم الجيولوجيا في طفولته عندما كان دائم السفر في الغرب الأمريكي. وقد شاهد المريخ أول مرة بمقراب أهداه إليه والداه لبلوغه الثانية عشرة. «كريستنسن»، الذي يعمل حاليا أستاذا بجامعة أريزونا الحكوميّة، هو أكبر خبير عالمي في تركيب سطح المريخ. وقد ابتكر فريقُه البحثي آلات الأشعة تحت الحمراء لسفن البعثات الفضائية: الماسح الشامل للمريخ، ومارس أوديسي، وبعثات السفن الجوالة لاستكشاف المريخ. وفي عام 2003 منحته وكالة ناسا ميدالية الإنجازات العلمية الاستثنائية، مكافأة له على أرصاده العلمية الرائدة للمريخ بالأشعة تحت الحمراء. ومنذ منتصف التسعينات من القرن الماضي، استعمل «كريستنسن» أيضا أرصاد سفن الفضاء، لدراسة مشكلاتِ التنمية البيئية والحضرية على الكرة الأرضيّة.

مراجع للاستزادة

Global Mapping of Martian Hematite Mineral Deposits: Remnants of Water-Driven Processes on Early Mars. P. R. Christensen, R. V. Morris, M. D. Lane, J. L. Bandfield and M. C. Malin in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, Part 10, pages 23,873–23,885; 2001.

Morphology and Composition of the Surface of Mars: Mars Odyssey THEMIS Results. Philip R. Christensen et al. in *Science*, Vol. 300, No. 5628, pages 2056–2061; June 27, 2003.

Spirit at Gusev Crater. Special issue of *Science*, Vol. 305, No. 5685, pages 793–845; August 6, 2004.

Opportunity at Meridiani Planum. Special issue of *Science*, Vol. 306, No. 5702, pages 1697–1756; December 3, 2004.

Roving Mars: Spirit, Opportunity, and the Exploration of the Red Planet. Steve Squyres. Hyperion, 2005.

Scientific American, July 2005

ألغاز الكتلة(*)

يجدّ الفيزيائيون في البحث عن جسيم مراوغ يمكنه أن يكشف عن وجود نوع جديد من الحقول (حقل هيگز) ينتشر في الوجود المادي كله. فوجود هذا الحقل سيوفر فهمًا أكمل عن الكيفية التي يعمل بها الكون.

<G. كين>

يعتقد معظم الناس أنهم يعرفون ما هي الكتلة، لكنهم لا يدركون سوى جزء من الحكاية. فالفيل، على سبيل المثال، أكبر كثيرا من النملة حجما ووزنا. وحتى في غياب الثقالة، تبقى كتلة الفيل أكبر ـ فدفعه أو تحريكه أصعب. ومن الواضح أن الفيل أكبر كتلة لأنه مؤلف من عدد من الذرات أكبر كثيرا مما في النملة. ولكن ما الذي يحدد كتلة كل من الذرات المنفردة؟ وماذا عن الجسيمات الأولية التي تشكل الذرات ـ ما الذي يحدد كتلها؟ وبالفعل لماذا يكون لها كتلة أصلا؟

وهكذا نرى أن لمسألة الكتلة وجهين مستقلين. أولا، يلزم أن نعرف كيف تنشأ الكتلة أصلا. يبدو أن الكتلة تنتج من ثلاث آليات مختلفة على الأقل، وهي التي سوف أصفها فيما يلي. إن أحد العوامل الأساسية في **النظريات التلمّسية (التجريبية)** tentative theories للفيزيائيين حول الكتلة هو نوع جديد من الحقول ينتشر في الوجود المادي كله، يدعى **حقل هيگز** Higgs field. ويُعتقد أن كتل الجسيمات الأولية تأتي من التآثر مع حقل هيگز. فإذا كان حقل هيگز موجودا بالفعل فإن النظرية تتطلب أن يكون له جسيم مرفق به، هو **بوزون هيگز** Higgs boson. ويحاول العلماء حاليا، باستخدام **مسرِّعات الجسيمات** particle accelerators، العثور على هذا البوزون.

والوجه الثاني هو أن العلماء يريدون أن يعرفوا لماذا تمتلك مختلف أنواع الجسيمات الأولية مقادير كتلة خاصة بها تغطي مدى يبلغ 10^{11} ضعفا على الأقل، ولكننا مازلنا لا نعرف سببا لذلك [*انظر الشكل في الصفحة 16*]. وعلى سبيل المقارنة، فإن كتلة الفيل تفوق كتلة أصغر نملة بنحو 10^{11} ضعفا.

ما هي الكتلة؟(**)

قدم <إسحق نيوتن> أول تعريف علمي للكتلة في عام 1687 في مؤلفه الشهير «**المبادئ**» Principia: «إن كمية المادة هي قياس هذه الكمية الناشئة عن كثافتها وحجمها معا.» وكان ذلك التعريف الأساسي جدا كافيا تماما لـ<نيوتن> وللعلماء الآخرين لمدة تزيد على 200 سنة. لقد أدركوا أن العلم ينبغي أن يبدأ أولا بوصف كيفية سير الأمور، ثم بفهم السبب بعد ذلك. وفي السنوات الأخيرة، على أية حال، أصبح «سبب» الكتلة موضوع بحث في علم الفيزياء. فَفَهْم معنى الكتلة وأصولها سوف يكمل **النموذج العياري** Standard Model لفيزياء الجسيمات ويوسعه. هذا النموذج هو النظرية المعترف بها والتي تصف الجسيمات الأولية المعروفة وتآثراتها. كما أن هذا الفهم سوف يحل ألغازا مثل المادة الخفية التي تشكل نحو 25 في المئة من الكون.

إن أساس فهمنا الحديث للكتلة أعقد بكثير من تعريف <نيوتن>، وهو يستند إلى النموذج العياري. ففي قلب هذا النموذج توجد دالة رياضياتية تدعى «لاگرانجيان» Lagrangian هي التي تمثل كيف تتآثر الجسيمات المختلفة. ويستطيع الفيزيائيون انطلاقا من هذه الدالة، وباتباع القواعد المعروفة باسم النظرية الكمومية النسبوية(1)، أن يحسبوا سلوك الجسيمات الأولية، بما في ذلك كيفية تجمعها لتشكل جسيمات مركبة مثل البروتونات. ونستطيع بعدئذ أن نحسب كيف تستجيب الجسيمات، الأولية منها والمركّبة، للقوى. فبالنسبة إلى قوة معينة F يمكن أن نكتب معادلة <نيوتن> على الصورة $F = ma$ التي تربط بين القوة والكتلة والتسارع الناتج. وتفيدنا دالة لاگرانجيان في معرفة ماذا نستخدم من أجل m هنا، وهذا هو المقصود بكتلة الجسيم.

لكن الكتلة، كما نفهمها عادة، تظهر بوضوح في أكثر من مجرد العلاقة $F = ma$. فنظرية النسبية الخاصة لـ<أينشتاين>، على سبيل المثال، تتنبأ بأن الجسيمات المعدومة الكتلة تسير في الخلاء بسرعة الضوء وأن الجسيمات ذات الكتلة تسير أبطأ كثيرا من ذلك بصورة يمكن معها حساب سرعتها إذا عرفنا كتلتها. كما تتنبأ قوانين الثقالة بأن الثقالة تؤثر في الكتلة وفي الطاقة أيضا بصورة محددة تماما. والكمية m المستنتجة من دالة لاگرانجيان لكل جسيم تسلك سلوكا صحيحا وفق أي من هذه الطرق؛ تماما كما نتوقع بالنسبة إلى كتلة معينة.

إن للجسيمات الأساسية كتلا ذاتية تُعرف باسم **الكتلة السكونية** rest mass (أما تلك الجسيمات التي كتلها السكونية

(*) العنوان الأصلي: THE MYSTERIES OF MASS
(**) What is Mass?
(1) relativistic quantum theory

تساوي صفرا فتدعى جسيمات **معدومة** كتلة massless). وبالنسبة إلى الجسيمات المركّبة فإن الكتلة السكونية للمكوّنات، وكذلك طاقتها الحركية والطاقة الكامنة لتأثراتها تسهم جميعها في كتلة الجسيم الكلية. ذلك أن الطاقة والكتلة مرتبطتان حسب معادلة <أينشتاين> الشهيرة $E = mc^2$ (الطاقة تساوي جداء الكتلة في مربع سرعة الضوء).

وكمثال على الطاقة التي تسهم في الكتلة ما يحدث في أكثر أنواع المادة انتشارا في الكون ـ البروتونات والنيوترونات التي تشكل النوى الذرية في النجوم والكواكب والناس وفي كل ما نراه. تشكل هذه الجسيمات من 4 إلى 5 في المئة من الكتلة-الطاقة في الكون [*انظر الإطار في الصفحة 17*]. ويدلنا النموذج العياري على أن البروتونات والنيوترونات مؤلفة من جسيمات أولية تدعى **كواركات** quarks، وهذه يرتبط بعضها ببعض بوساطة جسيمات معدومة الكتلة تدعى **كلوونات** gluons. وعلى الرغم من أن المكونات تدور وتلف داخل كل بروتون، فإننا نرى البروتون من الخارج جسيما متسقا ذا كتلة ذاتية تُعطَى بوساطة حاصل جمع كتل وطاقات مكوناته.

ويتيح لنا النموذج العياري أن نجد بالحساب أن الكتلة الكلية تقريبا للبروتونات والنيوترونات تأتي من الطاقة الحركية للكواركات والكلوونات المكونة لها (والباقي يأتي من الكتلة السكونية للكواركات). وهكذا فإن بين 4 و 5 في المئة من الكون كله ـ أي كل المادة المعروفة من حولنا تقريبا ـ تأتي من طاقة حركة الكواركات والكلوونات في البروتونات والنيوترونات.



كتلة الفيل الإفريقي الذكر (نحو 6000 كيلوغرام) تفوق كتلة أصغر أنواع النمل (0.01 مليغرام) بأكثر من 10^{11} ضعفا، وهذا تقريبا هو الفرق نفسه بين الكوارك الذروي والنيوترينو. أما لماذا يجب على كتل الجسيمات أن يختلف بعضها عن بعض بمثل هذا القدر الكبير فيبقى لغزا.

آلية هيكز(*)

إن الجسيمات الأولية فعلا ـ مثل الكواركات والإلكترونات، بخلاف البروتونات والنيوترونات ـ ليست مؤلفة من أجزاء أصغر منها. وتفسير كيفية وجود كتلة لها يمسّ اللبّ من مسألة أصل الكتلة. وكما ذكرت آنفا، فإن التفسير الذي تقترحه الفيزياء النظرية المعاصرة يقضي بأن كتل الجسيمات الأولية تنشأ عن تأثرات مع حقل هيكز. ولكن لماذا يوجد حقل هيكز خلال الكون كله؟ ولماذا لا تساوي شدته الصفر أساسا على المستوى الكوني، شأنه في ذلك شأن الحقل الكهرمغنطيسي؟ وما هي حقيقة حقل هيكز؟

إن حقل هيكز هو حقل كمومي. قد يبدو هذا غامضا، لكن الحقيقة هي أن جميع الجسيمات الأولية تنشأ على شكل كمّات (كمومات) عن حقل كمومي مناظر. والحقل الكهرمغنطيسي هو أيضا حقل كمومي (جسيمه الأولي المناظر هو الفوتون). وهكذا في هذا الخصوص، لا يشكل حقل هيكز لغزا أكثر مما

(*) The Higgs Mechanism

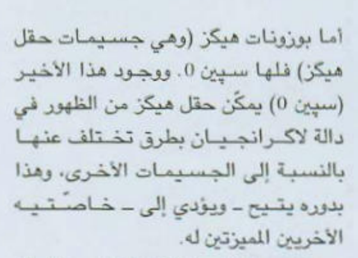
تشكله الإلكترونات أو الضوء، لكنه يختلف، على أية حال، عن جميع الحقول الكمومية الأخرى بثلاث طرق حاسمة.

الاختلاف الأول تقني بعض الشيء. فلجميع الحقول خاصية تدعى **سپين** spin، وهي كمية ذاتية **للاندفاع الزاوي** angular momentum يحملها كل من جسيماتها. فجسيمات مثل الإلكترونات لها سپين مقداره 1/2، ومعظم الجسيمات المرفقة بقوة ما، مثل الفوتون، لها سپين 1.

(أي حين تتلاشى الحقول) - إذا أدخل أي حقل غير معدوم فإن الطاقة المختزنة في الحقول تُزيد الطاقة الصافية للمنظومة. لكن طاقة الكون، في حالة حقل هيگز، تكون أقل إذا لم يكن الحقل معدوما بل كانت له قيمة ثابتة مختلفة عن الصفر. وبلغة التشبيه بالوادي مجازا يكون أسفل الوادي بالنسبة إلى الحقول العادية في الموضع الذي يكون فيه الحقل معدوما. أما بالنسبة إلى حقل هيگز فتكون للوادي

كل حال، ولسنا متأكدين من عدد أنواع حقول هيگز الموجودة. ومع أن النموذج العياري لا يتطلب سوى حقل هيگز واحد لتوليد كتل جميع الجسيمات الأولية، إلا أن الفيزيائيين يعلمون أنه ينبغي أن تحل محل النموذج العياري نظرية أكثر كمالا. والنظريات الرئيسية المنافسة، وهي امتدادات للنموذج العياري، تدعى **النماذج العيارية الفائقة التماثل** Supersymmetric Standard Models

لماذا ينتشر حقل هيگز في الكون كله؟ ما هو حقل هيگز؟



أما بوزونات هيگز (وهي جسيمات حقل هيگز) فلها سپين 0. ووجود هذا الأخير (سپين 0) يمكّن حقل هيگز من الظهور في دالة لاگرانجيان بطرق تختلف عنها بالنسبة إلى الجسيمات الأخرى، وهذا بدوره يتيح - ويؤدي إلى - خاصّتيه الأخريين المميزتين له.

تفسر الخاصية الثانية الفريدة لحقل هيگز كيف أن شدته ليست صفرا في جميع أنحاء الكون، وتوضح سبب ذلك. فكل منظومة، بما في ذلك الكون، تهوي إلى حالة الطاقة الدنيا لها، مثل كرة تتدحرج نازلة إلى قاع الوادي. وبالنسبة إلى الحقول المألوفة، مثل الحقول الكهرمغنطيسية التي توفر لنا البث الإذاعي، تكون حالة الطاقة الدنيا هي تلك التي تكون فيها الحقول معدومة القيمة

هضبة صغيرة في مركزه (حيث ينعدم الحقل) وأخفض نقطة في الوادي تشكل دائرة حول الهضبة *[انظر المؤطر في الصفحة المقابلة]*. والكون، مثله مثل كرة، يستقر في مكان ما في هذا الخندق الدائري الذي يقابل قيمة غير معدومة للحقل. أي إن الكون، في حالته الطبيعية ذات الطاقة الأكثر انخفاضا، ينتشر فيه حقل هيگز غير معدوم.

والصفة الأخيرة المميزة لحقل هيگز هي شكل تأثراته مع الجسيمات الأخرى. فالجسيمات التي تتأثر مع حقل هيگز تسلك كما لو أن لها كتلة متناسبة مع حاصل ضرب شدة الحقل في شدة التأثر. وتنشأ الكتل عن حدود دالة لاگرانجيان التي تكون فيها الجسيمات متأثرة مع حقل هيگز.

لايزال فهمنا لكل هذا غير كامل على

(واختصارا SSMs). يكون لكل جسيم من النموذج العياري في هذه النماذج ما يسمى **بالقرين الفائق** superpartner (لم يكتشف بعد) له خصائص مشابهة جدا[1]. ويحتاج الأمر في النموذج العياري الفائق التماثل إلى نوعين مختلفين على الأقل من حقول هيگز. والتأثرات مع هذين الحقلين هي التي تعطي كتلة لجسيمات النموذج العياري. وهي تعطي كذلك بعض (ولكن ليس جميع) الكتلة للقرائن الفائقة. وتنشأ عن حقليْ هيگز خمسة أنواع من بوزونات هيگز: ثلاثة منها متعادلة كهربائيا واثنان مشحونان. ومن الممكن لكتل الجسيمات المدعوة **نيوترينوهات** neutrinos، وهي كتل صغيرة جدا مقارنة بكتل الجسيمات الأخرى، أن تنشأ بصورة غير مباشرة غالبا عن هذه التأثرات، أو عن نوع ثالث آخر من حقول هيگز.

توجد لدى النظريين عدة أسباب تجعلهم يتوقعون أن تكون صورة النموذج العياري الفائق التماثل SSM حول تأثر هيگز هي صورة صحيحة. أولا، من دون آلية هيگز سيكون البوزونان W وZ، وهما اللذان ينقلان القوة الضعيفة، معدومي الكتلة مثلهما مثل الفوتون (الذي يتعلقان به)، وسيكون التأثر الضعيف في مثل قوة التأثر الكهرمغنطيسي

نظرة إجمالية/فيزياء هيگز(*)

- تبدو الكتلة خاصية عادية من خصائص المادة ولكنها في الواقع غامضة بالنسبة إلى العلماء من عدة نواح: أولا كيف تكتسب الجسيمات الأولية كتلة، ثم لماذا يكون لها هذه الكتل؟
- سوف تساعد الأجوبة عن هذه الأسئلة النظريين على استكمال النموذج العياري لفيزياء الجسيمات وتوسيعه. هذا النموذج الذي يصف الفيزياء التي تحكم الكون. ويمكن للنموذج العياري الموسع أن يساعد أيضا على حل أحجية المادة الخفية التي تشكل نحو 25 في المئة من الكون.
- تقضي النظريات بأن الجسيمات الأولية تكتسب كتلة بوساطة التأثر مع حقل كمومي ينتشر في الوجود المادي كله. ويمكن للتجارب التي تجرى في مسرِّعات الجسيمات أن تكشف قريبا الدليل المباشر على وجود هذا الحقل الذي يسمى حقل هيگز.

(*) Overview / Higgs Physics

(1) [انظر: "The Dawn of Physics beyond the Standard Model," by Gordon Kane; Scientific American, June 2003]

خصائص حقل هيكز المراوغ(*)

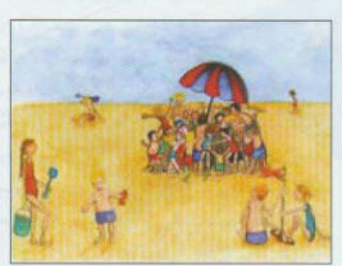
كيف يولِّد حقل هيكز الكتلة



يشبه الفضاء «الخالي» المملوء بحقل هيكز شاطئا ممتلئا بالأطفال.



ويشبه الجسيم الذي يعبر تلك المنطقة الفضاء بائع المثلجات الذي يصل ...



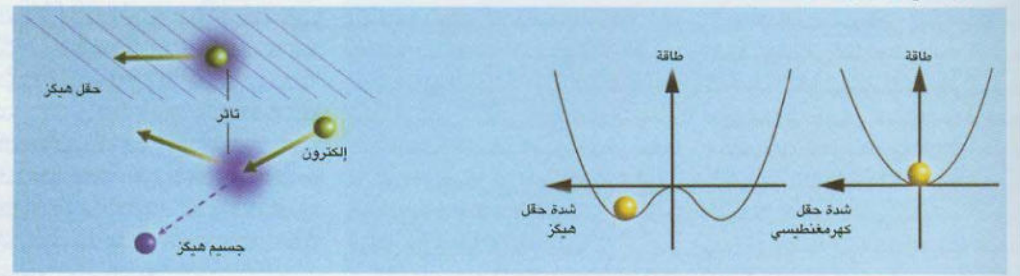
... ويتآثر مع الأطفال الذين يبطئون سيره ـ كما لو أنه يكتسب «كتلة».

انتشار في الوجود المادي

الحقل العادي، مثل الحقل الكهرمغنطيسي، تكون طاقته الدنيا عند شدة الحقل المعدومة (*في اليمين*). والكون مثل كرة كانت تتدحرج ثم سكنت في قعر الوادي ـ أي إنه استقر عند شدة الحقل المعدومة. أما حقل هيكز، على العكس من ذلك، فله طاقة دنيا عند شدة حقل غير معدومة، و«الكرة» تسكن عند قيمة لا تساوي الصفر (*في اليسار*). وعلى هذا فالكون، في حالته الطاقية الدنيا الطبيعية، ينتشر في حقل هيكز الذي قيمته غير معدومة.

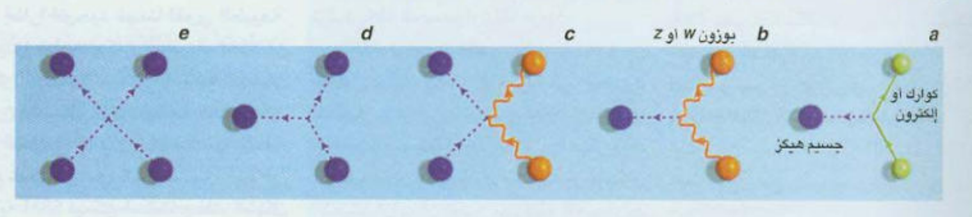
التسبب في ظاهرتين

يسبب التآثر نفسه ظاهرتين مختلفتين تماما ـ اكتساب الجسيم كتلة (*في الأعلى*) وإنتاج بوزون هيكز (*في الأسفل*). وسوف تكون لهذه الحقيقة فائدة عظمى في اختبار نظرية هيكز بوساطة التجارب.



التآثر مع جسيمات أخرى

تمثل مخططات القوة المسماة «مخططات فينمان» Feynman diagrams كيفية تآثر جسيم هيكز مع جسيمات أخرى. ويمثل المخطط (*a*) جسيما مثل الكوارك أو الإلكترون وهو يُصدر أو يمتص جسيم هيكز (مرسوم). ويبين المخطط (*b*) العملية المناظرة بالنسبة إلى بوزون *W* أو *Z*. ويمكن للبوزونين *W* و *Z* أن يتآثرا كذلك آنيا مع جسيمي هيكز كما هو مبين في المخطط (*c*) الذي يمثل أيضا بعثرة *W* أو *Z* لجسيم هيكز (أو تصادمهما معه إن صح القول). إن التآثرات الممثلة بوساطة المخططات من (*a*) إلى (*c*) هي أيضا المسؤولة عن توليد كتل الجسيمات. فجسيم هيكز يتآثر كذلك مع نفسه كما هو ممثل في المخططين (*d*) و (*e*). ويمكن بناء عمليات أكثر تعقيدا بوساطة ربط نسخ من هذه المخططات الأولية بعضها ببعض. والتآثران الموضحان في المخططين (*d*) و (*e*) مسؤولان عن شكل المنحني البياني للطاقة [*في الأعلى إلى اليمين*].



Properties of the Elusive Higgs (*)



تختلف كتل جسيمات النموذج العياري بعضها عن بعض بمقدار 10^{11} ضعفا على الأقل، ويُعتقد أن التآثرات مع حقل هيكز هي التي تولد هذه الكتل. ويرجح وجود خمسة من جسيمات هيكز على الأقل، ولكن كتلها غير معروفة؛ وقد أشير إلى كتل هيكز الممكنة.

وتبين النظرية أن آلية هيكز تمنح كتلة للبوزونين W و Z بطريقة خاصة جدا. وقد أثبتت تجريبيا تنبؤات تلك المقاربة (مثل النسبة بين كتلتي W و Z).

ثانيا، لقد اختُبرت جميع أوجه النموذج العياري اختبارا جيدا، ومن العسير تغيير جزء من هذه النظرية المفصلة المتشابكة (مثل الهيكز) من دون أن يؤثر ذلك في بقيتها. فعلى سبيل المثال، قاد تحليل القياسات الدقيقة لخواص البوزونين W و Z إلى التنبؤ الصحيح بكتلة **الكوارك الذروي** top quark قبل إنتاج هذا الكوارك بصورة مباشرة، وسوف يفسد تغيير آلية هيكز ذلك التنبؤ وتنبؤات أخرى ناجحة.

ثالثا، تنجح آلية هيكز في النموذج العياري نجاحا تاما في إعطاء كتلة لجميع جسيمات النموذج العياري، وللبوزونين W و Z، وكذلك للكواركات و**اللپتونات** leptons، في حين تفشل المقترحات البديلة عادة في ذلك. ثم إن النظرية SSM، بخلاف النظريات الأخرى، توفر إطارا لتوحيد فهمنا لقوى الطبيعة. وأخيرا فإن بإمكان النظرية SSM أن تفسر لماذا يكون «وادي» الطاقة الخاص بالكون بالشكل الذي تتطلبه آلية هيكز. ففي النموذج العياري الأساسي ينبغي وضع شكل الوادي كفرضية، أما في النظرية SSM فيمكن استنتاج ذلك الشكل بطريقة رياضياتية.

اختبار النظرية[*]

من الطبيعي أن يرغب الفيزيائيون في إجراء اختبارات مباشرة لفكرة أن الكتلة تنشأ عن التآثرات مع حقول هيكز المختلفة. وبإمكاننا اختبار ثلاث سمات دليلية. أولا، بإمكاننا البحث عن الجسيمات المميزة المدعوة بوزونات هيكز. فهذه **الكمّات** quanta يجب أن تكون موجودة وإلا كان التفسير غير صحيح. ويبحث الفيزيائيون حاليا عن بوزونات هيكز في **المصادم تيڤاترون** Tevatron Collider بمختبر مسرِّع فيرمي الوطني في باتاڤيا بولاية إيلينوي.

ثانيا، بمجرد أن تُكشف بوزونات هيكز يصبح بإمكاننا ملاحظة الكيفية التي تتآثر بها هذه البوزونات مع الجسيمات الأخرى. وحدود دالة لاگرانجيان التي تحدد كتل الجسيمات هي ذاتها التي تحدد أيضا خصائص مثل هذه التآثرات. ولهذا يمكننا إجراء تجارب لاختبار وجود حدود ذلك النوع من التآثر كميا، ذلك أن شدة التآثر ترتبط بكتلة الجسيم ارتباطا فريدا.

ثالثا، تتضمن المجموعات المختلفة من حقول هيكز، كتلك الموجودة في النموذج العياري أو في النماذج SSM المتنوعة، مجموعات مختلفة من بوزونات هيكز ذات الخصائص المتباينة. ولذلك فإن بإمكان الاختبارات أن تميز بين هذه الخيارات أيضا. وكل ما نحتاج إليه لإجراء الاختبارات هو مصادمات جسيمات مناسبة ـ أي مصادمات ذات طاقة كافية لإنتاج بوزونات هيكز المختلفة، وذات شدة كافية لإنتاج عدد كاف منها، وكذلك مكاشيف جيدة لتحليل ما ينتج.

والمشكلة العملية في إجراء مثل هذه الاختبارات هي أننا لم نفهم بعد النظريات فهما جيدا يكفي لحساب الكتل التي ينبغي أن تكون لبوزونات هيكز نفسها، وهذا يجعل البحث عنها أكثر صعوبة لأن المرء عليه أن يتفحص سلسلة من الكتل. إن الجمع بين الاستدلال المنطقي النظري والبيانات التجريبية يمكن أن يرشدنا إلى الكتل التقريبية المتوقعة. كان المصادم الإلكتروني-البوزيتروني الكبير (LEP)[1] في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN بالقرب من مدينة جنيڤ قد جرى تشغيله على مدى كتلي يشتمل، باحتمالية عالية، على بوزون هيكز. لكنه لم يجده ـ على الرغم من أنه كان ثمة دليل خَتَّار tantalizing على وجود بوزون عند حدود طاقة المصادم وشدته بالضبط ـ قبل أن يغلق عام 2000 مفسحا مكانه لبناء منشأة أحدث هي مصادم الهادرونات الكبير (LHC)[2] التابع لمختبر سيرن. وعلى هذا ينبغي أن تكون بوزونات هيكز أثقل بنحو 120 مرة من كتلة البروتون. ومع ذلك تمكّن المصادم LEP من إعطاء دليل غير مباشر على وجود بوزون

(*) Testing the Theory
(1) Large Electron-Positron Collider
(2) Large Hadron Collider

هيگز: فقد أجرت التجارب في المصادم LEP عددا من القياسات الدقيقة يمكن ضمها إلى قياسات مشابهة من التيڤاترون ومن المصادم في مركز المسرِّع الخطي في ستانفورد. ولا تتفق مجموعة البيانات جميعها اتفاقا جيدا مع النظرية إلا إذا أُدخلت تأثرات معينة للجسيمات مع أخف بوزون من بوزونات هيگز، وإلا إذا لم يكن هذا البوزون أثقل بنحو 200 مرة من كتلة البروتون. وهذا يوفر للباحثين حدا أعلى لكتلة بوزون هيگز مما يساعد على تركيز البحث.

وبالنسبة إلى السنوات القليلة المقبلة فإن المصادم الوحيد الذي يمكنه أن يعطي دليلا مباشرا على وجود بوزونات هيگز هو التيڤاترون. فطاقته تكفي لاكتشاف بوزون هيگز في المدى الكتلي الذي حدده الدليل غير المباشر من المصادم LEP، وذلك إذا تمكن من التوصل إلى الشدة الثابتة للحزمة التي كان يتوقع له أن ينتجها، والتي لم يمكن التوصل إليها حتى الآن. ومن المخطط له أن يبدأ المصادم LHC، والذي تفوق طاقته سبع مرات طاقة التيڤاترون والمصمم أن تكون شدته أكبر بكثير، بإعطاء البيانات عام 2007. سيكون هذا المصادم مَصْنَعًا لبوزونات هيگز (بمعنى أنه سوف ينتج العديد من الجسيمات كل يوم). إذا افترضنا أن المصادم LHC سيعمل كما هو مخطط له، فإن جمع البيانات ذات الصلة وتعلُّم كيفية تفسيرها سيستغرق سنة أو اثنتين. أما إجراء كامل الاختبارات التي تبين بالتفصيل أن التأثرات مع حقول هيگز هي التي تسبب الكتلة فسوف يحتاج إلى مصادم إلكتروني-پوزيتروني إضافة إلى المصادم LHC (الذي يصادم البروتونات) والتيڤاترون (الذي يصادم البروتونات والبروتونات المضادة).

المادة الخفية(**)

لن تَخْتبر المكتَشَفات حول بوزونات هيگز ما إذا كانت آلية هيگز توفر الكتلة فحسب، وإنما سوف تشير أيضا إلى الطريقة التي يوسَّع بها النموذج العياري لكي يحل مسائل

(*) A Cosmic Stocktaking
(**) Dark Matter
(1) [انظر: "A Cosmic Conundrum",
by Lawrence M. Krauss - Michael S. Turner;
Scientific American, September 2004]

تقييم كوني(*)

تفسر نظرية حقل هيگز كيف تكتسب الجسيمات الأولية، وهي أصغر لبنات الكون، كتلها. لكن آلية هيگز ليست المصدر الوحيد للكتلة-الطاقة في الكون [نشير «الكتلة-الطاقة» إلى كل من الكتلة والطاقة المرتبطتين بعلاقة أينشتاين $E = mc^2$].

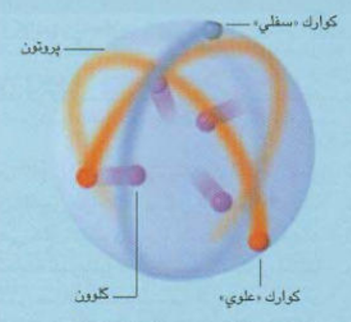
يوجد نحو 70 في المئة من الكتلة-الطاقة في الكون على شكل ما يسمى **بالطاقة الخفية** dark energy، والتي لا ترتبط مباشرة بالجسيمات. والمؤشر الرئيسي على وجود الطاقة الخفية هو أن تمدد الكون متسارع. وتعتبر الطبيعة الدقيقة للطاقة الخفية من أكثر المسائل العميقة التي لاتزال مفتوحة في الفيزياء(1).

أما كتلة-طاقة الكون المتبقية والتي تشكل 30 في المئة فتأتي من المادة، من الجسيمات التي لها كتلة. وأكثر أنواع المادة شيوعا هي البروتونات والنيوترونات والإلكترونات التي تشكل النجوم والكواكب والناس وكل ما نراه. وتوفر هذه الجسيمات نحو سدس مادة الكون أو نحو 4 إلى 5 في المئة من الكون كله. وكما هو مشروح في النص الرئيسي لهذه المقالة فإن معظم هذه الكتلة ينشأ عن طاقة حركة الكواركات والكلوونات الدائرة داخل البروتونات والنيوترونات.

ويأتي إسهامٌ أصغر في مادة الكون من الجسيمات المدعوة نيوترينوهات، والتي تضم ثلاثة أنواع. إن للنيوترينوهات كتلة إلا أنها صغيرة إلى حد مذهل، ولم يتم قياس الكتل المطلقة للنيوترينوهات بعد، لكن البيانات الموجودة تضع لها حدا أعلى - فهي أقل من نصف في المئة من الكون.

وبقية المادة جميعها تقريبا - نحو 25 في المئة من مجمل كتلة-طاقة الكون - هي مادة لا نراها، تدعى المادة الخفية. ونستنتج وجودها من آثارها التثاقلية على ما نراه. ولا نعرف بعد ما هي هذه المادة الخفية بالفعل، لكن هناك آراء جيدة مطروحة، والتجارب تجرى لاختبار مختلف الأفكار [انظر: «*البحث عن المادة المعتمة*»، **العلوم**، العددان 9/8 (2003)، ص 50]. يجب أن تكون المادة الخفية مؤلفة من جسيمات كبيرة الكتلة لأنها تشكل تجمعات حجمها بحجم المجرة تحت تأثيرات قوة الثقالة. وهناك عدد من المبررات تجعلنا نستنتج أن المادة الخفية لا يمكن أن تكون مؤلفة من أي من جسيمات النموذج العياري المألوفة.

والجسيم الأول المرشح للمادة الخفية هو القرين الفائق الأخف [LSP] الذي جرى الحديث عنه بتفصيل أكبر في النص الرئيسي لهذه المقالة. ويأتي القرين الفائق الأخف في توسعات النموذج العياري المسماة النماذج العيارية الفائقة التماثل. ويعتقد أن كتلة الجسيم LSP تبلغ نحو 100 ضعف من كتلة البروتون. وكان قد تبين للنظريين أن الجسيم LSP هو مرشح جيد للمادة الخفية قبل أن يعرف الكوسمولوجيون أنه يلزم نوع جديد من المادة الأساسية لتفسير المادة الخفية.



معظم المادة المرئية محصورة في البروتونات والنيوترونات. وكل من هذين النوعين من الجسيمات يتالف من كواركات وكلوونات تدور وتلف. ومعظم كتلة البروتون او النيوترون تاتي من طاقة حركة الكواركات والكلوونات.

الكون

طاقة خفية
مادة خفية
مادة مرئية
نيوترينوهات

توجد كتلة-طاقة الكون بصورة رئيسية في اربعة انماط عريضة: الطاقة الخفية الغامضة التي تسبب تسارع تمدد الكون، والمادة الخفية غير المرئية التي يمكن كشفها بوساطة آثارها الثقالية، والمادة المرئية والنيوترينوهات.

مثل منشأ المادة الخفية.

وفيما يتعلق بالمادة الخفية، فإن الجسيم الأساسي في النظرية SSM هو **القرين الفائق الأخف** (LSP) lightest superpartner. ومن بين القرائن الفائقة لجسيمات النموذج العياري المعروفة والتي تنبأت بها النظرية SSM فإن القرين LSP هو الجسيم ذو الكتلة الأخفض. وتتفكك معظم القرائن الفائقة في الوقت المعين إلى قرائن فائقة ذات كتل أقل، وتنتهي سلسلة التفككات بالجسيم LSP المستقر لأنه ليس هناك جسيم أخف منه يتفكك إليه. (حين يتفكك قرين فائق فإن أحد نواتج التفكك على الأقل يجب أن يكون قرينا فائقا آخر؛ ولا ينبغي أن يتفكك إلى جسيمات النموذج العياري كليا). يجب أن تكون الجسيمات القرائن الفائقة قد وُجدت في وقت مبكر في الانفجار الأعظم لكنها سرعان ما تفككت إلى الجسيمات LSP. والجسيم LSP هو المرشح الرئيسي للمادة الخفية.

يمكن لبوزونات هيگز أن تؤثر مباشرة أيضا في كمية المادة الخفية في الكون. فنحن نعلم أن كمية الجسيمات LSP حاليا ينبغي أن تكون أقل من الكمية التي كانت موجودة بعد الانفجار الأعظم بقليل، لأن بعضها لا بد أن يكون قد تصادم وفَنِيَ متحولا إلى كواركات ولپتونات وفوتونات، وربما كانت الجسيمات LSP المتآثرة مع بوزونات هيگز هي المسيطرة على معدل الفناء.

وكما ذكرنا آنفا، فإن حقلي هيگز الأساسيين في النماذج SSM يعطيان لجسيمات النموذج العياري كتلة، كما يعطيان **بعض** الكتلة للقرائن الفائقة مثل LSP. وتكتسب القرائن الفائقة مزيدا من الكتلة بوساطة التآثرات الإضافية التي يمكن أن تحدث مع حقول هيگز أخرى أو مع حقول مماثلة لحقول هيگز. ويوجد لدينا نماذج نظرية لكيفية حدوث هذه العمليات، ولكننا لن نتمكن من معرفة كيفية عملها بالتفصيل ما لم تكن لدينا بيانات حول القرائن الفائقة نفسها. ومن المتوقع الحصول على مثل هذه البيانات من المصادم LHC أو ربما حتى من التيڤاترون.

يمكن أيضا أن تنشأ كتل نيوترينو عن تآثرات مع حقول هيگز إضافية أو مع حقول تشبه حقول هيگز بطريقة مشوقة جدا. لقد افترض في الأصل أن النيوترينوهات معدومة الكتلة، لكن منذ عام 1979 تنبأ النظريون بأن لها كتلا صغيرة، وعلى مدى العقد الماضي أثبتت عدة تجارب مثيرة للإعجاب هذه التنبؤات [انظر: «*حل مشكلة النيوترينو الشمسي*»، **العلوم**، العددان 9/8 (2003)، ص 40]. إن كتل النيوترينوهات أقل من جزء من المليون من كتلة أصغر الجسيمات كتلة وهي كتلة الإلكترون. ولما كانت النيوترينوهات متعادلة كهربائيا فإن الوصف النظري لكتلها أكثر حذاقة منه بالنسبة إلى الجسيمات المشحونة. فهناك عدة عمليات تسهم في كتلة كل من أنواع النيوترينو، ولأسباب فنية فإن قيمة الكتلة الفعلية تنشأ عن حل معادلة بدلا من مجرد جمع الحدود.

وهكذا نكون قد فهمنا الطرق الثلاث التي تنشأ بوساطتها الكتلة: يأتي الشكل الرئيسي المألوف لدينا للكتلة - كتلة البروتونات والنيوترونات، ومن ثم الذرات - من حركة الكواركات المرتبطة بالبروتونات والنيوترونات. فكتلة البروتون تبقى هي نفسها تقريبا حتى من دون حقل هيگز. أما كتل الكواركات نفسها وكتلة الإلكترون فهي ناشئة عن حقل هيگز. وهذه الكتل يمكن أن تنتفي من دون هذا الحقل. وأخيرا، وبالتأكيد ليس آخرا، فإن معظم مقدار كتل القرائن الفائقة، ومن ثم كتلة جسيم المادة الخفية (إذا كان بالفعل هو القرين الفائق الأخف) تأتي من تآثرات إضافية غير تآثر هيگز الأساسي.

وأخيرا لننظر في أمر يعرف باسم **مسألة الأسرة (العائلة)** family problem فقد بيّن الفيزيائيون على مدى نصف القرن الماضي أن العالم الذي نراه، من الناس إلى الأزهار إلى النجوم، مبني من ستة جسيمات فقط: من ثلاثة جسيمات مادية (كواركات علوية وكواركات سفلية والكترونات) ومن كَمَّيْ قوة[1] (فوتونات وگلوونات) ومن بوزونات هيگز - وهذا وصف رائع وبسيط لدرجة مدهشة. إلا أن هناك إضافة إلى ذلك أربعة كواركات أخرى وجسيمين آخرين شبيهين بالإلكترون وثلاثة نيوترينوهات. وهذه جميعها ذات عمر قصير جدا أو أنها تتآثر بالكاد مع الجسيمات الستة الأخرى. ويمكن أن تصنف في ثلاث عائلات: علوي، سفلي، نيوترينو الإلكترون، الإلكترون؛ ثم: فاتن، غريب، نيوترينو الميون، الميون؛ وأخيرا: ذروي، قعري، نيوترينو التاو، تاو. وللجسيمات في كل عائلة تآثرات مماثلة لتلك التي للجسيمات في العائلات الأخرى. وهي تختلف فقط في أن تلك التي في العائلة الثانية تكون أثقل من تلك التي في العائلة الأولى، وتلك التي في العائلة الثالثة تكون بدورها أثقل. ونظرا لأن هذه الكتل تنشأ عن التآثر مع حقل هيگز فإنه ينبغي أن تكون للجسيمات تآثرات مختلفة مع هذا الحقل.

وعلى هذا فإن مسألة العائلة ذات شطرين: لماذا توجد ثلاث عائلات في حين أنه يبدو أن واحدة فقط تلزم لوصف العالم الذي نراه؟ ولماذا تختلف العائلات عن بعضها بالكتلة، ولماذا لها هذه الكتل؟ ربما لا يكون جليا لماذا يُدهش الفيزيائيون من أن الطبيعة تحتوي على ثلاث عائلات متماثلة تقريبا على الرغم من أن واحدة منها كافية. السبب في ذلك أننا نرغب في أن نفهم فهما كاملا قوانين الطبيعة والجسيمات والقوى الأساسية. ونتوقع أن يكون كل مظهر من مظاهر القوانين الأساسية ضروريا.

لقد رصد المصادم الإلكتروني-البوزيتروني الكبير دليلا ختّارا على وجود جسيم هيگز.



(1) two force quanta

ربما يكون جسيم هيكز قد أحدث حين تصادم بوزيترون وإلكترون عاليا الطاقة في المكشاف L3 بالمصادم الإلكتروني البوزيتروني الكبير في المركز CERN. تمثل الخطوط مسارات الجسيمات. وتصور اللطخات الخضراء والأرجوانية والرسم البياني histogramm ذو اللون الذهبي مقادير الطاقة التي تودعها الجسيمات المتناثرة من التفاعل في طبقات المكشاف. ولا يستطيع الفيزيائيون أن يستنتجوا ما إذا كانت جسيمات هيكز موجودة في بعض التفاعلات أم أن جميع البيانات كانت ناتجة من تفاعلات أخرى حدثت لتخفي إشارة هيكز، إلا بعد ضم الكثير من مثل هذه الأحداث.

فالهدف إذًا هو أن تكون لدينا نظرية تنشأ فيها جميع الجسيمات ونسب كتلها بصورة محتومة من دون افتراضات مفترضة خصيصا حول قيم الكتل ومن دون تعديل الوسطاء. فإذا كان وجود ثلاث عائلات أمرا أساسيا فإن في هذا مؤشرا لايزال مغزاه غير مفهوم حتى الآن.

ربط الأمور جميعها معا(*)

بإمكان النموذج العياري والنظرية SSM أن يستوعبا البنية العائلية المرصودة ولكنهما لا يستطيعان تفسيرها. وهذه إفادة قوية. ليس الأمر في أن النظرية SSM لم تفسر بعد البنية العائلية وإنما في أنها *لا تستطيع ذلك*. وبالنسبة إلي، فإن أكثر ما يثير في نظرية الأوتار ليس فقط أنها يمكن أن توفر لنا نظرية كمومية لجميع القوى، وإنما كذلك لأنها يمكن أن تخبرنا عن ماهية الجسيمات الأولية والسبب في وجود ثلاث عائلات. وتبدو نظرية الأوتار قادرة على معالجة مسألة لماذا تختلف التأثرات مع حقل هيكز بين العائلات. ففي نظرية الأوتار يمكن أن توجد عائلات مكررة، ولكنها غير متطابقة. وتصف الاختلافات بينها الخصائصُ التي لا تؤثر في القوى الشديدة والضعيفة والكهرمغنطيسية والثقالية، وإنما تؤثر في التأثرات مع حقول هيكز التي تتلاءم مع وجود ثلاث عائلات ذات كتل مختلفة. وعلى الرغم من أن نظريي الأوتار لم يحلوا بعد تماما مسألة وجود ثلاث عائلات فإنه يبدو أن النظرية تمتلك البنية الصحيحة لتوفير حل. تتيح نظرية الأوتار العديد من البنى العائلية وحتى الآن لا يعرف أحد لماذا تختار الطبيعة البنية التي نرصدها دون غيرها(1). ويمكن أن يوفر وجود بيانات عن كتل الكواركات واللپتونات وعن كتل أقرانها الفائقة دلائل مهمة تفيدنا في فهم نظرية الأوتار.

بإمكان المرء الآن أن يفهم لماذا استغرق الأمر تاريخيا كل هذا الوقت لنبدأ بفهم الكتلة. فمن دون فيزياء جسيمات النموذج العياري، ومن دون تطور نظرية الحقل الكمومية لوصف الجسيمات وتأثراتها، لم يكن بإمكان الفيزيائيين حتى أن يصوغوا الأسئلة الصحيحة. وفي حين أن أصول الكتلة وقيمها ليست بعد مفهومة تماما إلا أنه من المرجح أن الإطار اللازم لفهمها موجود. لم يكن فهم الكتلة ممكنا قبل وجود نظريات مثل النموذج العياري وامتداده الفائق التماثل ونظرية الأوتار. وليس من الواضح بعد ما إذا كانت ستوفر بالفعل الجواب الكامل. لكن الكتلة أصبحت الآن موضوع بحث روتيني في فيزياء الجسيمات. ■

(*) Tying It All Together

(1) [انظر: "The String Theory Landscape," by Raphael Bousso and Joseph Polchinski; Scientific American, September 2004].

المؤلف

Gordon Kane

متخصص في نظرية الجسيمات، وهو أستاذ الفيزياء في جامعة ميتشيكان بآن آربر. يعمل <كين> على اكتشاف طرق لاختبار النموذج العياري لفيزياء الجسيمات وتوسيعه. وبصورة خاصة يدرس فيزياء هيكز وتوسعات النموذج العياري الفائقة التماثل والكوسمولوجيا، مع التركيز على الربط بين النظرية والتجربة. وقد أكد حديثا على ضم هذه الموضوعات مع نظرية الأوتار وعلى دراسة نتائج ذلك على تجارب المصادمات.

مراجع للاستزادة

The Particle Garden. Gordon Kane. Perseus Publishing, 1996.

The Little Book of the Big Bang: A Cosmic Primer. Craig J. Hogan. Copernicus Books, 1998.

Mass without Mass II: The Medium Is the Mass-age. Frank Wilczek in *Physics Today*, Vol. 53, No. 1, pages 13–14; January 2000.

Supersymmetry: Unveiling the Ultimate Laws of Nature. Gordon Kane. Perseus Publishing, 2001.

An excellent collection of particle physics Web sites is listed at particleadventure.org/particleadventure/other/othersites.html

Scientific American, July 2005

هل كانت الأرض باردة في بداية تكونها؟(*)

قد يكون خاطئا ما يتردد في الكتب الدراسية حول أن الأرض كانت مشبعة بالصهارة على مدى نصف البليون سنة الأولى منذ نشأتها. فربما تبرد سطحها بسرعة مما أتاح تشكُّل المحيطات وطلائع القارات وبزوغ الحياة في وقت أبكر بكثير.

<J .W. ڤالي>

في بداية تكونها منذ 4.5 بليون سنة، تألقت الأرض وكأنها نجم خافت وتدفقت على سطحها محيطات من **الصهارة** magma المتوهجة الصفراء-البرتقالية اللون. تلت تصادمات متكررة من جلاميد هائلة، بعضها بحجم كوكب صغير، تدور في فلك الشمس الحديثة الولادة. وقد نجم عن تصادم كل من هذه الأجسام بكوكب الأرض، بسرعة تبلغ في المتوسط 75 مرة سرعة الصوت، حروق في سطحها ـ تمثلت بتحطيم وانصهار وحتى تبخر في مناطق التماس.

وفي مرحلة مبكرة غاص الحديد، بفعل كثافته العالية، من محيطات الصهارة متجها نحو الأعماق ليشكل اللب الفلزي للأرض، ومحررا ما يكفي من الطاقة التثاقلية(1) لصهر الكوكب برمته. ثمة نيازك ضخمة كانت تصطدم بالأرض باستمرار في أثناء مئات ملايين السنين الأولى، فجّر بعضها السطح مولدا فوهات ارتطام يتجاوز قطرها 1000 كيلومتر. وفي الوقت نفسه، ونتيجة لتحلل العناصر المشعة، تولدت حرارة بمعدلات تفوق ستة أضعاف تلك التي تولدها حاليا.

وكان لابد من أن تخبو هذه الظروف الملتهبة قبل أن تتصلب الصخور المنصهرة لتشكل القشرة الأرضية، وقبل أن تتكوّن القارات، وقبل أن يتحول الغلاف الجوي الكثيف المشبع ببخار الماء إلى ماء سائل، وقبل أن تنشأ الحياة البدائية الأولى وتتمكن من البقاء. ولكن ما سرعة تبرد سطح الأرض بعد مولدها الضيائي؟ يعتقد معظم العلماء أن البيئة الجحيمية استمرت على مدى 500 مليون عام، هي المعروفة باسم حقبة «الهاديان» Hadean. ويأتي الدعم الأساسي لهذا الرأي استنادا إلى الغياب الظاهري **لصخور سليمة (بقيت على حالها الأصلية)** intact rocks يتجاوز عمرها أربعة بلايين سنة، وكذلك استنادا إلى عمر أولى الإشارات إلى الحياة الأحفورية التي هي أحدث من ذلك بكثير.

ومع ذلك، عثر الجيولوجيون ـ بما في ذلك مجموعتي البحثية من جامعة وسكونسن بماديسون ـ في السنوات الخمس الماضية على بضع عشرات من بلورات **الزركون** zircon القديمة التي تتميز بتراكيب كيميائية أسهمت في تغيير آرائنا عن بداية كوكب الأرض. فالخصائص غير العادية لهذه المعادن المقاومة للبِلَى ـ وهي بحجم النقطة في هذه الجملة ـ تمكّن بلورات المعادن هذه من أن تحتفظ، بصورة مدهشة، بإشارات قوية عن حالة البيئة في أثناء تكونها. فهذه الكبسولات الزمنية توفر أدلة على أن المحيطات التي احتضنت الحياة البدائية، وربما القارات أيضا، ربما نشأت قبل 400 مليون عام من الزمن الذي اعتمد سابقا.

تبرد الأرض(**)

منذ القرن التاسع عشر حاول العلماء تقدير سرعة تبرد الأرض، ولكن القليل منهم توقع أن يجد دليلا قاطعا. فمع أن محيطات الصهارة توهجت في البداية بدرجات حرارة تتجاوز 1000 درجة سيلزية، إلا أن اقتراحا خَتّارا(2) يتمثل في كون الأرض البدائية كانت ذات مناخ أكثر اعتدالا، جاء من حسابات ثيرموديناميكية، تشير إلى أن سطح القشرة ربما تصلب خلال عشرة ملايين سنة. وأثناء عملية تصلب الكوكب عزلت الصخور المتماسكة المتزايدة السماكة محيطه الخارجي عن داخله حيث تسود في الأعماق درجات حرارة مرتفعة. فإذا كانت الأرض قد مرت بفترات هادئة بين الاصطدامات الكبرى للنيازك، وإذا كانت قشرة الأرض قد استقرت، وإذا كان الجو البدائي الحار لم يحبس كميات كبيرة من الحرارة، فقد كان بالإمكان حينئذ أن تنخفض الحرارة السطحية بسرعة إلى ما دون درجة غليان الماء. وإضافة إلى ذلك فقد كانت الشمس البدائية باهتة وتصدر طاقة منخفضة نسبيا.

ومع ذلك، يرى معظم الجيولوجيين أن الولادة الملتهبة غير المشكوك فيها والمؤشرات الضئيلة في السجل الجيولوجي، تشيران

(*) A COOL EARLY EARTH?
(**) Cooling Down
(1) gravitational
(2) tantalizing



منظر جديد للأرض الفتية التي تغمرها محيطات من الماء السائل منذ نحو 4.4 بليون سنة على نقيض حاد لعالم حار وعدائي حسب التصور المعتاد للكتب الدراسية.

إلى أن مناخا فائق الحرارة ساد مدة طويلة. فأقدم الصخور السليمة المعروفة التي عمرها 4 بلايين سنة، وهي الصخور المتحولة أكاستا Acasta في شمال غرب كندا، تشكلت عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض ولا تحمل معلومات عن الظروف التي كانت سائدة على السطح. ويعتقد معظم الباحثين أن الظروف الجهنمية التي سادت على السطح محت الصخور التي تكوّنت سابقا. كما أن أقدم الصخور المعروفة بمنشئها تحت الماء (ومن ثم في بيئة باردة نسبيا) لم تتشكل إلا منذ 3.8 بليون سنة. إن هذه الرسوبيات المتكشفة في أيسوا Isua بجنوب غرب غرينلاند، تحوي أقدم أدلة الحياة. [انظر: «*تساؤلات حول أقدم علامات الحياة*»، **العلوم**، العددان 3/2 (2004)، ص 4].

وفي عقد الثمانينات من القرن العشرين، بدأت بلورات زركون منفردة بإضافة معلومات جديدة عن الأرض الفتية، وذلك عندما أصبحت بضع حبات نادرة من الزركون وجدت في جاك هيلز Jack Hills وماونت ناريار Mount Narryer بغرب أستراليا أقدم المواد الأرضية المعروفة حينذاك، فقد قدر عمرها بنحو 4.3 بليون

سنة. إلا أن المعلومات التي حملتها بلورات الزركون هذه بدت غامضة. ويعود ذلك جزئيا إلى عدم تأكد الجيولوجيين من طبيعة الصخرة الأم. فإثر تكوّنها، تكون بلورات الزركون شديدة المقاومة لدرجة أنها تتمكن من البقاء حتى بعد تكشّف صخرتها الأم على سطح الأرض ودمارها بفعل **التجوية** weathering و**الحت** erosion. وتستطيع المياه والرياح بعد ذلك نقل الحبات التي بقيت إلى مسافات بعيدة قبل أن تندمج في رواسب من الرمال و**الحصى** gravel، والتي قد تتصلب بعد ذلك إلى صخور رسوبية. وقد عُثر فعلا على بلورات زركون جاك هيلز ـ التي قد يفصلها آلاف الكيلومترات عن مصدرها ـ في حاجز حصوي قديم يطلق عليه اسم **رصيص جاك هيلز** Jack Hills conglomerate.

منظر قديم لأرض فتية حارة (مجلة لايف Life magazine 1952/12/8).

واقعة على حافة محطتي أغنام شاسعة تدعيان بيرينكارا Berringarra وميليورا Mileura توجدان على بُعْد نحو 800 كيلومتر شمال بيرث Perth، أكثر المدن الأسترالية انعزالا. جرى ترسيب رصيص جاك هيلز منذ ثلاثة بلايين سنة، وهو يشكل الحافة الشمالية الغربية لمجموعات من التكوينات الصخرية التي يتجاوز عمرها 2.6 بليون سنة. وللحصول على أقل من ملء كشتبان من بلورات الزركون، قمت وزملائي بجمع مئات الكيلوغرامات من الصخور من هذه المنكشفات الصخرية النائية نقلت بعدها إلى المختبر لسحقها وفرزها، وكأننا نبحث عن حبات معينة من الرمل في الشاطئ.

وبعد استخلاص البلورات من مصدرها الصخري صار بالإمكان تحديد عمرها؛ لأن بلورات الزركون تشكل ضابط وقت نموذجيا. فإضافة إلى ديمومتها الطويلة تحتوي هذه البلورات على كميات ضئيلة من اليورانيوم المشع الذي يتحلل بمعدلات معروفة ليتحول إلى رصاص. فعندما يتكون الزركون في أثناء تصلب الصهارة تتحد ذرات **الزركونيوم** zirconium و**السيليكون** silicon مع الأكسجين بنسب محددة ($ZrSiO_4$) لتكوين بنية بلورية فريدة خاصة بالزركون؛ وأحيانا يتم التبادل مع اليورانيوم بمقادير ضئيلة للغاية. ومن جهة ثانية، فإن ذرات الرصاص كبيرة لدرجة لا تسمح بالتبادل بسهولة مع أي من العناصر في الشبيكة البلورية، لذا فإن الزركون يكون خاليا تماما من الرصاص عند نشأته الأولى، وتبدأ ساعة اليورانيوم-رصاص بالعمل بعد تبلور الزركون مباشرة. وهكذا، فإن نسبة الرصاص إلى اليورانيوم تزداد بـ[ـا]زدياد عمر البلورة. ويمكن أن يحدد العلما[ء] بثقة عمر الزركون **السليم** undamaged وبدقة تبلغ 1 في المئة، أي بدقة تعادل ±40 مليو[ن] سنة من عمر الأرض الفتية.

وقد أصبح تحديد عمر جزء معين من إحدى البلورات ممكنا للمرة الأولى في أوائل عقد الثمانينات من القرن العشرين، عندما ابتكر <W. كومپستون> وزملاؤه [من الجامعة الوطنية الأسترالية في كانبيرا] نوعا خاصا من **المسبار الميكروي (المجهري) الأيوني** ion microprobe، وهي آلة كبيرة للغاية تم تسميتها هزليا «شريمپ» SHRIMP، الاسم المختزل **لمسبار ميكروي أيوني حساس ذي دقة عالية** Sensitive High Resolution Ion Micro Probe. وعلى الرغم من أن معظم بلورات الزركون لا تكاد ترى بالعين المجردة، فإن المسبار الميكروي الأيوني المجهري يطلق حزمة من الأيونات مركزة بصورة ضيقة للغاية، لدرجة تجعلها قادرة على قذف عدد صغير من الذرات في أي جزء تسلط عليه من سطح الزركون. ويتولى عندئذ **مقياس الطيف الكتلوي** mass spectrometer قياس تركيب هذه الذرات بمقارنة كتلها. وقد كانت مجموعة <كومپستون> ـ التي تعمل مع <R. T. پيدجيون>، و<S. A. وايلد> و<J. باكستر> [وجميعهم من جامعة كيرتين التكنولوجية في أستراليا] أول من حدد عمر زركون جاك هيلز في عام 1986.

إثر اطلاعي على هذا الأمر، أجريت اتصالا مع <وايلد> فوافق على إعادة التحريات المتعلقة بعمر زركون جاك هيلز كجزء من أطروحة دكتوراه لطالب لديّ <W. H. پيك>، وهو حاليا مدرس في جامعة كولگيت. وفي عام 1999 قام <وايلد> بتحليل 56 عينة لم يحدد عمرها بعد باستخدام جهاز شريمپ مطور، فوجد أن خمسا منها تتجاوز أعمارها أربعة بلايين سنة، ولدهشتنا الكبيرة كان عمر الأقدم منها 4.4 بليون سنة. ومن الجدير بالذكر أن لبعض العينات من القمر والمريخ أعمارا مماثلة، أما النيازك فهي غالبا ما تكون أقدم عمرا، إلا أنه لم يتم العثور على أعمار كهذه في كوكبنا (ولم يُتوقع ذلك). فالجميع تقريبا توقعوا أنه حتى

وعلى الرغم من الإثارة الناجمة عن العثور على مثل هذه الأجزاء البدائية من الأرض، فإن معظم العلماء، وأنا منهم، واصلوا قبول الرأي بأن مناخ كوكبنا الفتي هو بالفعل مناخ حقبة الهاديان. واعتبارا من عام 1999 أتاح التقدم التقاني إجراء دراسة إضافية لبلورات الزركون القديمة من غرب أستراليا ـ متحديا الرأي التقليدي حول بداية تاريخ الأرض.

التعمق في البحث(*)

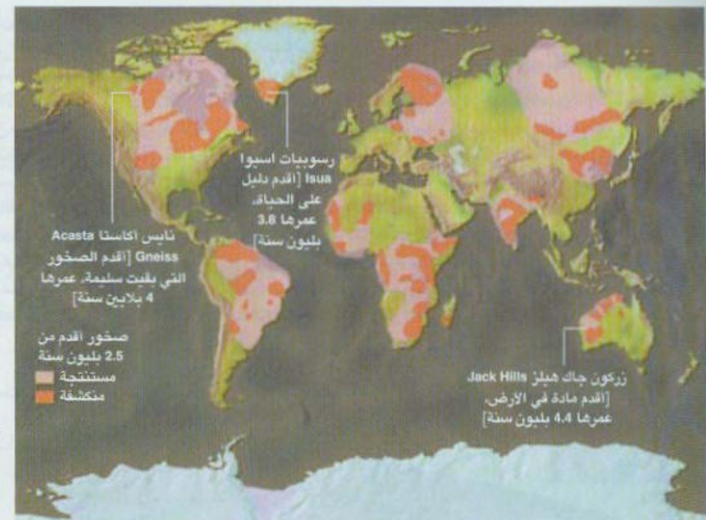
لم تفش البلورات الأسترالية أسرارها بسهولة ويسر. وقد يرجع ذلك أولا إلى كون جاك هيلز والمناطق المجاورة قفارا مغبرة

نظرة إجمالية/ كبسولات الزركون الزمنية(**)

- لطالما اعتقد الجيولوجيون أن الظروف الملتهبة لولادة كوكبنا قبل 4.5 بليون سنة حل محلها مناخ معتدل قبل نحو 3.8 بليون سنة.
- ويعتقد الآن، أن ثمة بلورات بالغة الصغر من معدن الزركون، تحتفظ بدليل واضح عن كيفية وزمن تشكلها، تشير إلى أن الأرض بردت في زمن أبكر بكثير ـ ربما قبل 4.4 بليون سنة.
- بل إن بعض بلورات الزركون القديمة تحمل تراكيب كيميائية موروثة من المناطق الرطبة الباردة اللازمة لنشوء الحياة.

(*) Digging Deep
(**) Overview/ Zircon Time Capsules

أقدم القطع (المناطق) في كوكب الأرض(*)



صخور قديمة يزيد عمرها على 2.5 بليون سنة تنكشف أو تقع تحت التربة مباشرة في عدة مواقع حول العالم (*الأحمر*)، بل لعلها مختفية تحت صخور أحدث عبر مناطق أكثر اتساعا (*الوردي*). وفي نهاية المطاف، يمكن - في مواقع أخرى - اكتشاف بلورات من الزركون قديمة قدم ما اكتُشف في جاك هيلز بغرب أستراليا.

طبقةُ حصباءٍ gravel أحفورية في جاك هيلز (*في الأعلى*) تحتوي على أقدم زركون تم اكتشافه حتى الآن في العالم. وقام الجيولوجيون بسحق وفرز مئات الكيلوغرامات من هذه الصخور (*في الأسفل*) للعثور على عشرين بلورة تحمل إشارات على ظروف باردة قبل أربعة بلايين سنة.



لو وجدت بلورات من الزركون كهذه الأكثر قدما، فإن ظروف الهاديان الدينامية دمرتها. وفي ذلك الحين لم نعلم مطلقا بأن أكثر الاكتشافات إثارة سوف يظهر فيما بعد.

أدلة عن محيطات قديمة(**)

كنت وزميلي ‹پيك› نبحث عن عينة محفوظة جيدا للأكسجين الأقدم في كوكب الأرض. فارتأينا أن نتحرى زركون غرب أستراليا الذي حلله ‹وايلد›. كنا نعلم أن بإمكان الزركون الاحتفاظ بأدلة لا تشمل فقط زمن تشكل الصخور المضيفة ***بل وكيفية*** تشكلها. وبشكل خاص كنا نستخدم النسبة بين مختلف نظائر الأكسجين لتقدير درجة حرارة العمليات التي أدت إلى تشكل الصهارة والصخور.

يقوم الجيوكيميائيون بقياس النسبة بين الأكسجين 18 (O^{18} وهو نظير نادر مؤلف من ثمانية بروتونات وعشرة نيوترونات ويشكل 0.2 في المئة من مجمل الأكسجين في الأرض) والأكسجين 16 (O^{16} وهو النظير الشائع للأكسجين المؤلف من ثمانية بروتونات وثمانية نيوترونات ويشكل نحو 99.8 في المئة من مجمل الأكسجين). تُدعى هذه الذرات النظائر المستقرة لأنها لا تخضع للتحلل الإشعاعي، ومن ثم لا تتغير تلقائيا مع مرور الزمن، بيد أن نسب O^{18} و O^{16} المندمجة في البلورة في أثناء تشكلها تتباين تبعا لدرجة حرارة الوسط الذي تتشكل فيه.

إن النسبة O^{18}/O^{16} معروفة بالنسبة إلى **وشاح الأرض** earth's mantle (غلاف سماكته 2800 كيلومتر يقع مباشرة أسفل القشرة القارية والمحيطية التي تراوح سماكتها بين خمسة و40 كيلومترا). وللصهارة المتكونة في الوشاح نسبة نظائر الأكسجين نفسها تقريبا. ولتبسيط الأمر يقوم الجيوكيميائيون بمعايرة هذه النسب بالرجوع إلى النسبة التي نجدها في مياه البحر ويتم التعبير عنها بالرمز **دلتا** delta (δ). فقيمة δO^{18} للمحيطات هي صفر تعريفا، وقيمة δO^{18} للزركون في وشاح الأرض 5.3، بمعنى أنها تحوي O^{18}/O^{16} أكثر من مياه البحر.

لهذا توقعت مع ‹پيك› أن نجد قيمة قريبة من 5.3 لوشاح الأرض البدائي، عندما أخذنا زركون جاك هيلز، بما في ذلك العينات الخمس الأقدم، إلى جامعة أدنبرة باسكتلندة في الصيف نفسه. فهناك ساعدنا ‹د. كريڤن› و‹ك. گراهام› على استخدام نوع مختلف من المسبار الميكروي الأيوني يلائم بشكل خاص قياس نسب نظائر الأكسجين. وفي العقد الماضي كنا قد عملنا معا مرارا لتحسين التقنية بحيث أصبحنا قادرين على تحليل عينات حجمها يعادل واحدا في المليون من حجم العينات التي كان بإمكاننا تحليلها في مختبري بوسكونسن. فبعد إجراء تحاليل على مدار الساعة طوال 11 يوما مع ساعات نوم محدودة (وهذه تعتبر ظروفا عادية لعملية كهذه)، أنجزنا القياسات فوجدنا أن تنبؤاتنا

(*) Oldest Pieces of The Planet
(**) Evidence of Ancient Oceans

استخلاص الأدلة(*)

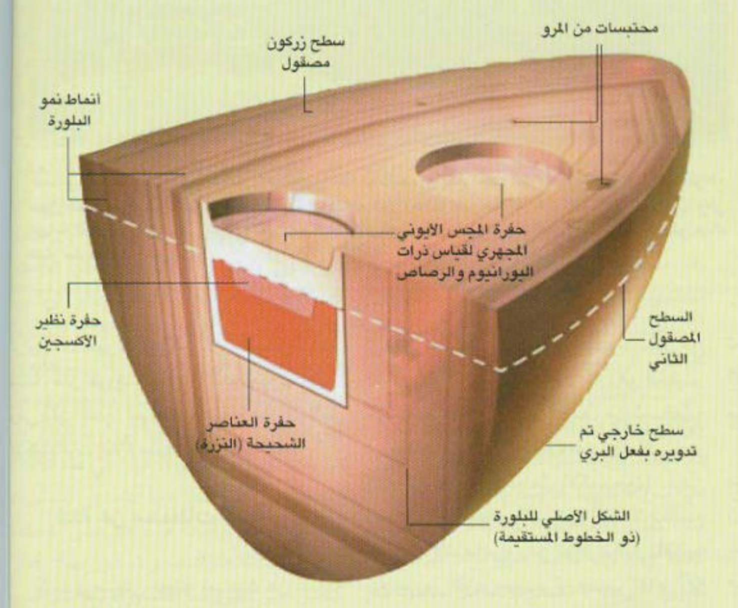
يستخلص العلماء من بلورة منفردة من معدن الزركون شواهد عدة حول البيئة القديمة للأرض (*المقطع الرئيسي في الأسفل*). وهم يقومون أولا بوضع الزركون في الإيبوكسي epoxy (نوع من الصمغ)، ومن ثم يعملون على جرش وتلميع البلورة لإظهار سطحها الأصلي.

ويتم الكشف على أنماط نمو الزركون وأية شظايا صغيرة من المعادن التي تم احتواؤها أثناء نموه، باستخدام مجهر إلكتروني ماسح scanning. فعلى سبيل المثال إن أكثر المحتبسات شيوعا في الزركون هو المرو الذي مصدره الغرانيت، وهو نوع من الصخور التي تميز القارات.

يشكل مسبار ميكروي أيوني حفرة صغيرة بقذف الذرات على هذا السطح اللامع باستخدام حزمة مركزة من الأيونات، ثم يحدد أنواع الذرات بمقارنة كتلها. ولتحديد عمر البلورة يقوم العلماء بقياس ذرات اليورانيوم والرصاص المحتجزة في البنية الذرية للزركون. وبكلام أبسط، فإن تواصل التحلل الإشعاعي لليورانيوم إلى رصاص يعني أنه كلما ازدادت كمية الرصاص بالنسبة إلى اليورانيوم كانت البلورة أكثر قدما.

بعد ذلك يقوم الباحثون بجرش سطح البلورة لإظهار طبقة أكثر عمقا في البلورة، ولتكوين حفرة ثانية في مكان يطابق تماما وبدقة الموقع الأول مستخدمين لهذا الغرض المسبار الميكروي وذلك لقياس ذرات الأكسجين، أحد العناصر الثلاثة التي تكون الزركون. إن النسبة بين نظائر معينة للأكسجين - أي ذرات من الأكسجين تتميز بكتل مختلفة - تُظهر ما إذا كانت البلورة قد سجلت ظروفا حارة أو باردة.

ويولد الباحثون حفرة ثالثة لقياس مقادير العناصر الشحيحة (النزرة) trace elements، وهي شوائب تشكل أقل من 1 في المئة من بنية البلورة. وبعض هذه العناصر أكثر شيوعا في القشرة القارية.





الزركون الأقدم على وجه الأرض يظهر كصورة ضيائية كاثودية عمرها 4.4 بليون سنة.

مشهد أكثر قربا





الزركون الأحمر (*في اليسار*). تم التقاط الصورة قرب أنف الرئيس روزفلت على دايم (عملة أمريكية قدرها 10 سنتات) من أجل تبيان المقياس. يأتي الزركون الأحمر من عينة الصخور ذاتها التي وفرت أقدم بلورة في الأرض. وبإمكان المسبار الميكروي الأيوني، كالمجهر المتاح في مختبر مؤلف المقالة بجامعة وسكونسين في ماديسون (*في أقصى اليسار*) أن يحلل نسب النظائر أو العناصر الشحيحة (النزرة) في بقعة حجمها يعادل 15/1 من قطر البلورات نفسها.

(*) Extracting Evidence

كانت خاطئة، إذ إن قيم δO^{18} وصلت إلى 7.4.

لقد صعقنا. ما الذي يمكن لهذه النسب العالية لنظائر الأكسجين أن تعنيه؟ سيكون الجواب واضحا لو كانت الصخور أحدث عمرا، وذلك بسبب توافر مثل هذه النسب في الصخور الحديثة. وثمة سيناريو نموذجي بهذا الصدد يتمثل في أن الصخور المنتشرة على سطح الأرض يمكن ـ تحت درجة حرارة منخفضة ـ أن تكتسب نسبة مرتفعة من نظائر الأكسجين إذا تأثرت كيميائيا مع مياه الأمطار أو مياه المحيطات. ومن ثم، فإن دفن هذه



الصخور ذات النسبة العالية من δO^{18} وصهرها يؤدي إلى تشكيل صهارة تحتفظ بهذه القيم المرتفعة التي تنتقل إلى الزركون في أثناء تبلوره. وهكذا فإن ثمة حاجة إلى توافر الماء السائل ودرجات الحرارة المنخفضة على سطح الأرض لتكوين زركونات وصهارات تتسم بقيم δO^{18} مرتفعة؛ ولا توجد عملية معروفة أخرى قادرة على تحقيق ذلك.

ويشير وجود نسب مرتفعة لنظير الأكسجين في زركون جاك هيلز إلى أن الماء السائل وجد على سطح الأرض قبل 400 مليون سنة، على أقل تقدير، من تشكل أقدم الصخور الرسوبية المعروفة، أي صخور إسيوا Isua في غرينلاند. وإذا صح ذلك، فإن محيطات برمتها ربما كانت موجودة، بحيث جعلت المناخ المبكر للأرض أشبه **بالسونا** sauna منه بكرة نار الهاديان.

أدلة قارية(*)

هل يمكننا في الواقع أن نعتمد نتائج بعيدة المدى كهذه حول تاريخ الأرض استنادا إلى بضع بلورات بالغة الصغر؟ لقد أرجأنا نشر النتائج لأكثر من سنة لكي نتحقق مرة ثانية من تحاليلنا. وفي غضون ذلك، كانت مجموعات أخرى تجري أبحاثها الخاصة في منطقة جاك هيلز. وقد أكّد نتائجنا <J .S. مُويْزيس> [من جامعة كولورادو] مع زملائه [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس]، فنشرنا في عام 2001 مقالتين تباعا توضحان ذلك.

وبعد أن انتشرت اكتشافاتنا عن الزركون في المجتمع العلمي كانت الإثارة ملموسة. ففي عنف الاحتراز المفرط لعالم الهاديان لا يمكن أن تُسلِّم عينة واحدة لكي يتسنى دراستها من قبل الجيولوجيين. إلا أن بلورات الزركون هذه أشارت إلى عالم

إن بلورات الزركون الصغيرة الحجم، ومصدرها غرب أستراليا، لم تبح بأسرارها بسهولة.

مألوف أكثر اعتدالا فأتاحت الوسائل اللازمة لإماطة اللثام عن أسراره. فإذا كان مناخ الأرض باردا لدرجة تسمح بظهور محيطات مبكرة من الماء فقد ينبئنا الزركون باحتمال وجود القارات وغيرها أيضا من مظاهر الأرض المعاصرة. ولتقصي ذلك تطلّب الأمر أن ننظر بصورة أكثر قربا إلى داخل كل من هذه البلورات.

فحتى أكثر بلورات الزركون صغرا تحتوي على مواد أخرى تغلفت أثناء نمو الزركون حولها. فهذه **المحتبسات** inclusions في الزركون يمكن أن تكشف الكثير عن مصدر البلورات، مثلما تكشفه أنماط نمو البلورات و**العناصر الشحيحة (النزرة)** trace elements فيها. وعندما قمت مع <بيك> بدراسة بلورات الزركون البالغ عمره 4.4 بليون سنة، وجدنا، على سبيل المثال، أنها تحتوي على أجزاء من معادن أخرى بما في ذلك **المرو** quartz. وقد كان ذلك مدهشا لأن المرو نادر الوجود في الصخور البدائية، وربما كان غير موجود في القشرة الأولية للأرض. فمعظم بلورات المرو تأتي من الصخور الغرانيتية التي أصبحت شائعة في القشرة القارية الأكثر تطورا.

فإذا كان مصدر زركون جاك هيلز صخرا غرانيتيا، فإن هذا الدليل يؤيد فرضية مفادها أن هذا المعدن يمثل عينة من أول قارة ظهرت على كوكب الأرض. إلا أنه لابد من توخي الحذر. فالمرو يمكن أن يتشكل في المراحل الأخيرة من تبلور الصهارة حتى ولو لم تكن الصخور الأم غرانيتية، على الرغم من أن مثل هذا المرو أقل توافرا. فمثلا، تم العثور على الزركون وبضع حبات من المرو على سطح القمر الذي لم يشهد بتاتا تطور قشرة غرانيتية قارية. وتساءل بعض العلماء، عن إمكانية تشكل بلورات الزركون الأقدم في بيئة شبيهة ببيئة القمر الأولية، أو أنها تكونت بوسائل أخرى غير شائعة حاليا، كأن تكون ذات صلة بارتطام نيزك ضخم أو بنشاط بركاني نابع من مصدر عميق، ولكن أحدا من العلماء، لم يوفر دليلا مقنعا.

وفي أثناء ذلك، توافرت معلومات عن القشرة القارية من العناصر الشحيحة (النزرة) (العناصر التي تتبادل في الزركون بكميات لا تتجاوز نسبتها 1 في المئة). يحتوي زركون جاك هيلز على تراكيز عالية من هذه العناصر، كما يحتوي على أنماط من عنصري اليوروبيوم والسيريوم يشيع حدوثها في أثناء تبلور القشرة، مما يعني أن الزركون تكوّن قرب سطح الأرض وليس في الوشاح. إضافة إلى ذلك فإن نسب النظائر المشعة للنيوديميوم والهافنيوم ـ وهما عنصران يستخدمان لتوقيت الأحداث المؤدية إلى تكون القارات ـ تشير إلى أن مقادير ملموسة من القشرة القارية تشكلت قبل 4.4 بليون سنة.

وقد وفر توزع بلورات الزركون القديمة أدلة إضافية. إن نسبة الزركون الأكثر قدما من أربعة بلايين سنة تزيد على 10% في بعض العينات من جاك هيلز. كما أن سطوح الزركون تشير إلى بري أو **سحج** abrasion بدرجة عالية وتم تدوير زوايا أوجه البلورات التي كانت حادة عند منشئها، مما يشير إلى

(*) Continental Clues

حكايات تروى(*)

غيرت بلورات زركون جاك هيلز من غرب أستراليا نمط تفكير العلماء عن تاريخ الأرض. فهذه البلورات تمثل أقدم مادة أرضية تم اكتشافها حتى الآن. فمئات البلورات التي تم تعرّفها تشكلت قبل أربعة بلايين سنة. والعديد منها، الذي يؤدي دور ضابط للزمن، يحمل أيضا علامات كيميائية واضحة تشير إلى أن محيطات من الماء السائل، وحتى قارات، وجدت على سطح الأرض في زمن كان يُعتقد سابقا أنه سطح ملتهب ومصهور.

عمر قديم

إن العمر الأقدم لزركون جاك هيلز ـ 4.4 بليون سنة (*الأحمر*) ـ متطابق تماما مع «ساعتين» clocks جيولوجيتين ـ زوجين من النظائر ـ هما اليورانيوم 235-الرصاص 207 (*المحور الشاقولي*) واليورانيوم 238-الرصاص 206 (*المحور الأفقي*) ـ اللذان يشكلان ضابطتين مشعتين للزمن تبدآن العمل عندما يتكون الزركون. فإذا حُفظتا جيدا، فإن النسب النهائية لهما تتمثل بخط وحيد (*الأصفر*). أما تواريخ أجزاء أخرى من الزركون (*الوردي*) فإنها تقع خارج هذا الخط، ويعود ذلك إلى فقدان بعض الرصاص في هذه المناطق، بيد أن العلماء يمكن أن يصححوا هذا الخطأ.

محيطات باردة

إن نسب نظائر الأكسجين في عينات من زركون جاك هيلز (*الأزرق*) التي تصل إلى 7.5 يمكن أن تتحقق فقط إذا كانت صخور مصدرها قد تشكلت في بيئة باردة غنية نسبيا بالمياه قرب سطح الأرض. فإذا حدث أن غمرت محيطات الصهارة الكوكب أثناء تشكل الزركون فإن قيمها ستتجمع بالقرب من 5.3، مثلما تتجمع نسب جميع البلورات الآتية من صخور حارة منشؤها عميق في قلب كوكب الأرض (*الأحمر*).

القارات الأولى؟

إن السطوح المدوّرة لبعض بلورات زركون جاك هيلز تُظهر تحت المجهر الإلكتروني الماسح أن الريح، وربما المياه الجارية، قارعت هذه البلورات لمسافات طويلة ـ ربما عبر قارة كبيرة من الأرض اليابسة ـ قبل توضّعها في أمكنتها (*في اليسار*). فالزركون الذي نجده قرب مصدره يحتفظ بحافات حادة (*أقصى اليسار*). إن العدد الكبير من بلورات جاك هيلز المستديرة الحافات يشير إلى انتشار واسع للصخور التي كانت تشكل مصدرها الأصلي.

نقلها بالرياح مسافات بعيدة عن صخر مصدرها. كيف يمكن إذًا أن تنتقل بلورات الزركون مئات أو آلاف الكيلومترات كغبار تذروه الرياح وتبقى مع ذلك مركزة ومجتمعة مع بعضها بعضا ما لم تكن في الأصل متوافرة بكميات كبيرة؟ وكيف يمكن لبلورات الزركون هذه أن تسلم من الدفن والانصهار في الوشاح الحار ما لم تتوافر قشرة من النوع القاري سميكة ومستقرة لكي يتسنى الحفاظ على هذه البلورات؟

تظهر هذه النتائج أن بلورات الزركون كانت منتشرة بكثرة في زمن ما، وأن مصدرها منطقة واسعة الامتداد، ربما كتلة قارية. فإذا كان الأمر كذلك، فهناك احتمال كبير بأن صخورا من ذلك الزمن الموغل في القدم مازالت موجودة في وقتنا هذا، وهو أمر مثير لأننا قد نتعلم الكثير من صخور بقيت سليمة تنتمي إلى ذلك الزمن القديم.

إضافة إلى ذلك، فإن توزع أعمار بلورات الزركون القديمة ليس منتظما. فهناك تجمّع لأعمار متقاربة في فترات زمنية محددة، ولم يعثر على الزركون في أحقاب أخرى. حصل أحد طلبتي في الدراسات العليا سابقا وهو <J.A. كافوسي> [يعمل حاليا مدرسا في

(*) The Tales They Tell

جامعة بورتوريكو]، على دليل مماثل في بلورات ممنطقة zoned من الزركون، حيث تشكلت النواة قبل 4.3 بليون سنة في حين نمت نطق حولها في زمن لاحق يمتد بين 3.3 و 3.7 بليون سنة. ومن المتوقع أن يتناقص عمر بلورة الزركون من النواة إلى الحافة لأن بلورات الزركون تنمو على نحو **متراكز** concentric بإضافة المادة إلى محيط حباتها. بيد أن الفروق الكبيرة في العمر ووجود فجوات زمنية



بين النوى والحافات لبلورات الزركون هذه تشير إلى وقوع حادثتين متمايزتين يفصل بينهما ثغرة رئيسية. أما بالنسبة إلى بلورات الزركون الأكثر توافرا والأحدث عمرا، فإن هذه العلاقة الزمنية بين النواة والغلاف ترجع إلى عمليات تكتونية أدت إلى صهر القشرة القارية وإعادة تدوير الزركون في القشرة. ويحاول العديد من العلماء اختبار ما إذا كانت بلورات زركون جاك هيلز القديمة قد تشكلت في ظروف مماثلة.

وأحدث ما استجد في هذا المجال تقرير <B. E. واتسون> [من معهد رنسيلاير بوليتكنيك] و<T. M. هاريسون> [من جامعة أستراليا الوطنية] عن وجود تراكيز من التيتانيوم أقل من المتوقع في بلورات الزركون القديمة، مما يدل على أن درجة حرارة الصهارة التي تشكلت فيها راوحت بين 650 و 800 درجة سيلزية. ومثل هذه الدرجات المنخفضة لا تتوافر إلا إذا كانت الصخور الأم غرانيتية، لأن معظم الصخور غير الغرانيتية تنصهر في درجات حرارة أكثر ارتفاعا، ومن ثم فإن الزركون الذي ينتمي إليها لا بد أن يحتوي على نسب أعلى من التيتانيوم.

الزركون للأبد(*)

منذ قيامي مع زملائي بتحليل نسب نظائر الأكسجين في بلورات زركون جاك هيلز الخمس عام 1999 تراكمت بسرعة البيانات التي تعزز نتائجنا. فقد أجريت تحريات في كل من بيرث وكانبرا وبكين ولوس أنجلوس وأدنبرة وستوكهولم ونانسي في فرنسا تناولت وضع عشرات الآلاف من بلورات زركون جاك هيلز تحت المسبار الميكروي الأيوني للبحث عن القلة القليلة من بينها التي تتجاوز أعمارها أربعة بلايين سنة، كما استخدمت تقنيات تأريخ أخرى لهذا الغرض.

وثمة اكتشافات جديدة لمئات من بلورات الزركون من مواقع مختلفة تم الإعلان عنها وتراوحت أعمارها بين 4.4 و 4 بلايين سنة. فقد عثر <D. R. نلسون> وزملاؤه [من هيئة المساحة الجيولوجية لغرب أستراليا] أيضا على بلورات قديمة من الزركون تبعد مسافة 300 كيلومتر إلى الجنوب من تلال جاك هيلز. ويقوم الجيوكيميائيون بتقصي مناطق قديمة أخرى من الأرض يحدوهم الأمل في أن يجدوا للمرة الأولى بلورات زركون عمرها أقدم من 4.1 بليون سنة من خارج أستراليا.

وقد أدى تكثيف البحث إلى تحسين التقانة. فقد قدم <كافوسي> نتائج تظهر مزيدا من الدقة بتحليل أكثر من 20 بلورة من زركون جاك هيلز تتميز باحتوائها على نسب مرتفعة من نظائر الأكسجين التي تشير إلى درجات حرارة منخفضة (برودة) على سطح الأرض ومحيطات قديمة يرجع عمرها إلى 4.2 بليون سنة.

قد تمثل بلورات زركون جاك هيلز عينات من أول قارة ظهرت في العالم.

وما زلت مع زملائي نتابع البحث باستخدام النموذج الأول من الجيل الأحدث للمسبار الميكروي الأيوني الذي يدعى CAMECA IMS 1280 والذي تم تركيبه في مختبري في الشهر 2005/3.

وستتم الإجابة عن العديد من الأسئلة إذا أمكن تعرّف الصخور الأصلية التي تشكل فيها الزركون. وحتى لو لم نجدها قط، فإن بإمكاننا أن نتعلم الكثير من كبسولات الزركون البالغة الصغر. ■

(*) Zircons Are Forever

المؤلف

John W. Valley

حصل على الدكتوراه عام 1980 من جامعة ميتشيغان في آن اربور حيث اظهر اهتماما للمرة الأولى بالأرض المبكرة. وابتداء من ذلك التاريخ قام مع طلبته بتحري سجل الصخور القديمة في مختلف أرجاء أمريكا الشمالية وغرب أستراليا وغرينلاند واسكتلندة. يشغل حاليا منصب رئيس الجمعية الأمريكية لعلم المعادن، وكرسي <R. Ch. فان هيز> للجيولوجيا في جامعة وسكونسين، حيث أنشأ المختبر WiscSIMS. والإمكانات المتميزة للمسبار الميكروي الأيوني الجديد CAMECA IMS 1280 المتوافرة في هذا المختبر ستتيح إجراء عدد كبير من الأبحاث. فإلى جانب الزركون، سيسبر <ڤالي> وزملاؤه العديد من المواد النادرة أو البالغة الصغر ابتداء من غبار النجوم وانتهاء بالخلايا السرطانية.

مراجع للاستزادة

A Cool Early Earth. John W. Valley, William H. Peck, Elizabeth M. King and Simon A. Wilde in *Geology*, Vol. 30, No. 4, pages 351–354; April 2002.

Magmatic $\delta^{18}O$ in 4400–3900 Ma Detrital Zircons: A Record of the Alteration and Recycling of Crust in the Early Archean. Aaron J. Cavosie, John W. Valley, Simon A. Wilde and the Edinburgh Ion Microprobe Facility in *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 235, No. 3, pages 663–681; July 15, 2005.

The author's "Zircons Are Forever" Web site is at www.geology.wisc.edu/zircon/zircon_home.html

Scientific American, October 2005



تقرير خاص
مستقبل الخلايا الجذعية

محتويات التقرير

رسالة من المحررين

في العالم كله كما في الولايات المتحدة، انتقلت الخلايا الجذعية من مادة بيولوجية غامضة إلى الواجهة في الجدل السياسي والثّقافي. والباحثون واثقون من أن الخلايا الجذعية ستشكل في يوم ما، حجر الأساس لمعالجات وأدوية خيالية. بيد أن الناقدين يحاولون البرهنة على أن أبحاث الخلايا الجذعية تطرح أسئلة أخلاقية، ليس أقل عمقا مما طرحته مساعي تطوير القنبلة النووية قبل ستين عاما.

إن تعقيدات العلم وتزايد المشكلات التجارية والأخلاقية والسياسية، يشكلان تحديا أمام كل من يرغب في أن يظل باستمرار على معرفة تامة بهذا الموضوع الحيوي. ولهذا السبب، فإننا نعتقد أن الخلايا الجذعية تشكل مناسبة مثالية لنشر تتشارك فيه صحيفة *الفايننشال تايمز* (FT) و*ساينتفيك أمريكان*.

ويستمد هذا التقرير الخاص أصالته من قوة الصحيفة FT في الأعمال التجارية العالمية ومن تقاريرها السياسية، التي تكمل تباعا تجربة *ساينتفيك أمريكان* الطويلة في جعل المناقشات العلمية واضحة وموثوقة.

ويسهل عادة نسيان أن أبحاث الخلايا حديثة العهد نسبيا. ففي عام 1998 فقط، عيّن العلماء لأول مرة هوية الخلايا الجذعية لجنين الإنسان وقاموا بعزلها. أما اليوم، فإن أبحاث الخلايا الجذعية مهدت السبيل إلى فرص أمام بلدان تتطلع إلى إنهاء الدور القيادي للولايات المتحدة في التقانة الحيوية. لقد أجّج موضوع الخلايا الجذعية من جديد المناقشات فيما إذا كانت حقوق الجنين جزءا لا يتجزأ من حقوق الإنسان، ومتى يكون ذلك. لقد ألهبت هذه المناقشات تفكير المقاولين، وأنتجت خدمات جديدة للمستهلكين: فالآباء المتوقعون يتلقون حاليا على نحو روتيني دعوات تناشدهم أن يجمدوا الخلايا الجذعية الموجودة في دم الحبل السُّري لولدانهم، كحيطة لأي احتياجات طبية مستقبلية.

هذه الممارسات كشفت للرأي العام كم كان محبطا غياب الإشراف وفقدان التوجيه الأخلاقي طوال سنوات عديدة، لبعض الممارسات في عيادات الإخصاب. لقد استثارت هذه الممارسات تمردا ماليا ـ له الطبيعة الرديئة نفسها ـ بين الولايات الأمريكية ضد التقييدات على التمويل الفدرالي للأبحاث. كما أوحت هذه الممارسات بأشكال جديدة من الاحتيال: غدا المرضى في روسيا ضحايا لبيوتات تجارية تعدهم بأن «حُقَن خلاياهم الجذعية» قد تعالج أنواعا عديدة من العلل. وبطبيعة الحال، فلقد ولّدت هذه الممارسات تخمينات كثيرة حول مدى تعدد استعمال الأنماط المختلفة للخلايا الجذعية، وما يمكن لذلك أن ينبئنا بالقدرات الكامنة لنُسُجنا جميعها.

وعمليا، لم يتم التوصل إلى حل نهائي لأي مسألة ارتبطت بالخلايا الجذعية. وعوضا عن طرح أجوبة نهائية لا لبس فيها، فإن على هذا التقرير أن يؤدي دور مرجع مختصر لأكثر الأسئلة أهمية والتي يجب إيجاد إجابات لها في السنوات القادمة. وستستمر كل من *الفايننشال تايمز* و*ساينتفيك أمريكان* بتقديم تغطية من الطراز الأول للتطور المتنامي لهذا الموضوع، بما في ذلك ـ كما نأمل ـ الأخبار النهائية بأن الخلايا الجذعية قد ترسخت كمصدر ثابت يعوّل عليه في المعالجات العملية والفرص المالية.

<ا. باربر>
مدير التحرير
فايننشال تايمز
www.ft.com

<ل. ريني>
رئيس التحرير
ساينتفيك أمريكان
www.sciam.com

أمّ الخلايا كافة(*)

يتوقع العلماء فوائد جمة للجنس البشري من سيل الأبحاث على الخلايا الجذعية الجنينية؛ ولكن الأمر قد يحتاج إلى جيل أو جيلين قبل أن يصبح التأثير ملموسا.

كانت أواخر التسعينات الفترة الأكثر إنتاجية في تاريخ الأبحاث البيولوجية. فلقد تبع بسرعة ولادة دولّي، أول ثديي مستنسخ، والاشتقاق الناجح للخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وحينئذ، وعندما أطل فجر الألفية الجديدة، أُعلن عن إتمام مشروع الجينوم البشري.

ومنذئذ ضخّم الإعلام هذه الإنجازات، وتزامن ذلك مع حماسة وتشجيع كثير من الباحثين ذوي السلطة لخلق إثارة شعبية شديدة بشأن عصر جديد من **الطب التجددي** regenerative medicine. ويتصور بعض الناس أنه في غضون سنوات قليلة، سيكون بالإمكان عبر تشارك مازال مبهما بين الخلايا الجذعية والاستنساخ والهندسة الجينية ـ تكوين خلايا جديدة، وأخيرا أعضاء بكاملها، لتحل محل تلك التي كفّت عن أداء وظائفها بسبب المرض أو حادث مفاجئ أو الشيخوخة.

وتوازنت هذه الوعود باعتراضات أخلاقية ودينية على أبحاث الخلايا الجذعية، وبخاصة على فكرة إمكان تكوين أجنة خصيصا للبحث العلمي ثم إتلافها. وكذلك المخاوف من أن الاستنساخ العلاجي قد يفتح الباب على مصراعيه أمام الاستنساخ التوالدي.

وفيما يتعلق بكثير من الناس، فإن مجرد عبارة «الخلايا الجذعية» تلخص كل الإثارة والمخاوف. بيد أن هناك جهلا واسع الانتشار بشأن حقيقة الخلايا الجذعية، إضافة إلى التفكير المبني على التمني لا على الحقيقة والواقع بشأن السرعة التي يمكن أن يتم فيها إحراز ما تعد به هذه الخلايا. إن القصد من وراء هذا التقرير إلقاء ضوء علمي على مستقبل أبحاث الخلايا الجذعية، وعلى المسائل السياسية المرتبطة بهذه الأبحاث، التي تدفع حاليا بالحكومة الفدرالية وبحكومات الولايات كي تتعهد ببلايين الدولارات من المواد المالية العامة لهذا النوع من الأبحاث.

وبادئ ذي بدء، لا بد إذًا من طرح تعاريف أساسية. فالخلايا الجذعية تؤدي دور جهاز تصليح بيولوجي، مع إمكان أن تتنامى في الجسم إلى أنماط كثيرة من الخلايا المتخصصة؛ إذ يمكنها نظريا أن تنقسم إلى ما لانهاية كي تسد النقص في خلايا أخرى. فعندما تنقسم خلية جذعية ما، يمكن لكل من الخليتين الابنتين أن تبقى خلية جذعية، أو أن تختار دورا أكثر تخصصا، كخلية عضلية مثلا أو دموية أو دماغية، وهذا منوط بوجود أو بغياب إشارة كيميائية حيوية. إن ضبط هذه السيرورة التمايزية يمثل واحدا من التحديات الأكثر تعقيدا في أبحاث الخلايا الجذعية.

إن إنتاج خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية أمر صعب، فقد بلغت حصيلة سبعة أعوام من العمل الشاق أقل من 150 خطا خلويا.

لا جديد عن الخلايا الجذعية بحد ذاتها. لقد استُعملت المعالجات بالخلايا الجذعية لعقود من الزمن. وأفضل مثال معروف هو اغتراس نقي العظام لمعالجة ابيضاض الدم واضطرابات دموية أخرى. لقد نجحت هذه المعالجات، ذلك أن النقي مملوء بالخلايا الجذعية الدموية. ولكن المعالجات كافة التي تمت حتى الآن، غالبا ما استعمل فيها ما يطلق عليه اسم الخلايا الجذعية البالغة، وهذا مصطلح صحيح عندما يكون المصدر فعلا هو البالغ، ومضلل كما يحدث غالبا، عندما تأتي الخلايا من الرضيع أو من الجنين. وقد يكون تعبير **خلايا جذعية جسدية** somatic stem cells اسما أفضل لهذه الخلايا.

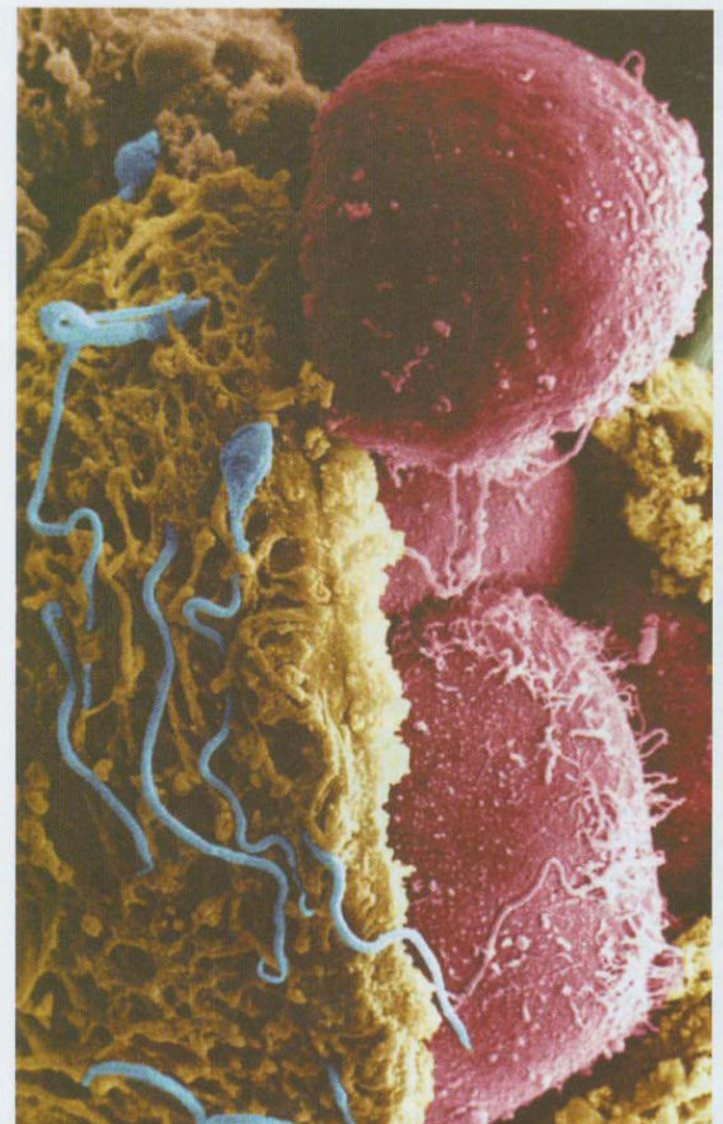
إن عدد أنواع الخلايا المتخصصة، التي يمكن الحصول عليها من الخلايا الجذعية الجسدية محدود. ويشكل حاليا مدى المحدودية موضوعا لجدل علمي حاد سيُعالج في مقالة تالية [انظر: «*عمّال التصليح من داخل الجسم*»، في هذا *التقرير الخاص*]. وتعتبر **الأجنة الفتية** embryonic stem cells من حيث إمكانياتها مصدرا أفضل، ذلك أن خلاياها جميعها مازالت غير متخصصة. والخلايا الجذعية الجنينية (وتختصر إجمالا بالخلايا ES) **متعددة الإمكان** pluripotent: أي إن بوسعها أن تتمايز إلى أي نمط خلوي تقريبا.

لقد أنشئ أول خط خلوي (جمهرة من الخلايا الثابتة المتكررة ـ المتنسخة) من الخلايا ES البشرية في عام 1998، من قبل ‹J. تومسون› [من جامعة ويسكونسن]. وتشتمل التّقْنية على استخراج الخلايا من داخل جنين عمره أسبوع (أو ما يعرف **بالكيسة الأُريميّة** blastocyst) ـ كرة مجهرية تتألف من 50 إلى 100 خلية وزرعها في طبق مختبري مع مغذيات وعوامل نمو مختلفة. وتُعطى الأجنة في الحالة السوية من قبل أزواج يخضعون لمعالجة **الإخصاب في المختبر** in vitro fertilization (اختصارا IVF)، وإلا فستُهمل.

حتى الآن، وبعد سبع سنوات من العمل المكثف العالمي النطاق، يمتلك العالم أقل من 150 خطا جيدة التوصيف من الخلايا ES. ذلك أن سيرورة ترسيخ هذه الخلايا هو أمر عويص جدا. فاثنان وعشرون خطا فقط متاحة في الولايات المتحدة للأبحاث المولة فدراليا، حيث إن إدارة ‹بوش› قضت بأن على معاهد الصحة الوطنية (NIH) ألا تمول أبحاثا على خطوط أنشئت بعد الشهر 2001/8. وما إن يتم ترسيخ الخط، فإن خلاياه الجذعية تكون جوهريا خالدة ويمكن عندئذ تجميده للتخزين في بنك الخلايا، كالبنك الذي تم تأسيسه في عام 2004 بالمملكة المتحدة، وأيضا للتوزيع على بقية الباحثين.

وفي محاولة لتجنب الاعتراضات الأخلاقية المتعلقة بتدمير الأجنة البشرية

(*) MOTHER OF ALL CELLS يوحي «من أم المعارك».
(التحرير)



تنبثق طلائع الخلايا الجذعية الجنينية (الأحمر) من داخل جنين بشري عمره أربعة أيام حيث انشقت طوليا الغلالة البروتينية وبرزت الخلايا. وعندئذ يمكن جني الخلايا وزرعها لتنشئ الخلايا الجذعية الجنينية.

الخاصة بالأبحاث، يستكشف بعض العلماء مصادر بديلة للخلايا ES. وقد تتمثل إحدى المقاربات بتعرف الخلايا الجذعية الجسدية (البالغة) الأقل تمايزا، وبتدوير ساعة تناميها إلى الوراء بحيث تسلك سلوك الخلايا ES المتعددة الإمكان. والمقاربة الأخرى عبر **التوالد البكري** parthenogenesis، الذي يتمثل بتفعيل البيضة البشرية غير المخصبة، بحيث تباشر الانقسام كجنين بشري مبكر. ولكن ليس من الواضح بعد فيما إذا كانت أي المقاربتين ستنجح.

وحتى عهد قريب جدا، نمى الباحثون الخلايا ES البشرية على طبقة من خلايا جلد الفأر، تعرف **بالخلايا المُطعمة** feeder cells، التي تثبط تمايز الخلايا الجذعية إلى خلايا أكثر تخصصا. وكان الباحثون يغذونها أيضا بمصل الدم المشتق من أجنة البقر. ولكن مما يؤسف له أن هذه المكونات اللابشرية تحمل في طياتها خطر التلوث ببروتينات أو مُمرضات حيوانية، تماما كما هي الحال في **الاغتراس الغريب** xenotransplantation، الأمر الذي يحول دون استعمال الخلايا الجذعية في العيادة استعمالا آمنا.

وفي عام (2005)، أعلنت عدة مجموعات بحثية أنها استعاضت بنجاح عن المكونات الحيوانية بمكونات بشرية. ولكن بعض العلماء مازال يؤكد أن تلوث الأوساط النوعية المستعملة في إنماء الخلايا ES وتمايزها، على درجة من الانتشار بحيث يصعب التخلص منه كليا [*انظر الإطار في الصفحة 35*].

وخلافا للخلايا الجذعية الجسدية (البالغة)، فإنه لا يمكن استعمال الخلايا ES مباشرة للمعالجة، لأنها تسبب السرطان. وبالفعل، فإن أحد الاختبارات المختبرية للخلايا ES يتمثل بحقنها في الفأر، ومن ثم تحليل **الورم المسخي** teratoma (ورم يتشكل من الخلايا الجنينية) الذي ينشأ. وبناء على ذلك، فإن أي تطبيق علاجي سيتطلب من العلماء توجيه تمايز الخلايا ES إلى خلايا ذات تخصص نوعي لاغتراسها في المرضى - مثلا إلى الخلايا بيتا المنتجة للأنسولين لمرضى الداء السكري، أو إلى العصبونات المنتجة للدوپامين لمعالجة داء پاركنسون. وسيتطلب الأمر مسحا شديد الدقة للتأكد من عدم وجود أي من الخلايا ES.

وإذا كان ترسيخ خطوط الخلايا ES عويصا، فإن توجيه تمايزها يشكل كابوسا علميا. ولقد بدأ الباحثون يفهمون للتو فقط الشروط البيئية وتضاميات[1] عوامل النمو والپروتينات الأخرى، التي يتطلبها توجيه الخلايا ES البشرية، بحيث تصبح خلايا متخصصة عصبية أو عضلية أو أي نمط آخر تتطلبه المعالجة.

إضافة إلى ذلك فإن التجارب على الخلايا ES الفأرية توحي بأنه من الممكن تطوير معالجات آمنة وفعالة من الخلايا البشرية المماثلة. ويبذل الباحثون في العالم كله جهودا حثيثة لبلوغ هذه الغاية، ذلك أن المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية تَعِدُ بالكثير. ويعتقد البيولوجيون أن معظم الأمراض التنكسية على درجة من التعقيد

(1) combinations

الخَيمرات البشرية ـ الحيوانية[*]

يمكن لبعض التجارب أن تطمس على نحو مقلق الحاجز الذي يفصل بين الأنواع.

لقد أصبح علم الخلايا الجذعية ردي، السمعة لأنه أجبر المجتمع على إعادة النظر حول أين عليه أن يضع الحاجز الفاصل ما بين الخلايا الجنينية البشرية، وبين الكائن البشري. وما هو أقل وضوحا أن هذا العلم يدفعنا إلى حدود أخرى، قد تكون مبهمة على نحو مدهش، تلك الحدود التي تفصل بين البشر والحيوانات. وتيسر الخلايا الجذعية إنتاج خيمرات متطورة بين الأنواع: كائنات حية تتألف من خلايا بشرية وحيوانية. ويمكن للمسائل الأخلاقية التي يطرحها مجرد وجود هذه المخلوقات أن تصبح مقلقة على نحو خطير.

والخَيمرة، في الأسطورة اليونانية، هي مسخ يضم أجزاء من المعزة والأسد والأفعى. ويمكن للخَيمرات المتوالدة في المختبرات أن تبدو، بسبب هذه السمية[1]، وكأنها فكرة شريرة وُلدت من غطرسة علمية محضة. ومع ذلك، فإن إنشاء هذه الخَيمرات يبدو محتوما إذا كان لابد من استعمال الخلايا الجذعية كمواد علاجية. وسيحتاج الباحثون إلى دراسة كيف ستسلك الخلايا الجذعية داخل الجسم، وكيف ستستجيب للكيماويات المختلفة. وما لم يقم الباحثون بإجراء هذه التجارب الأولية الخطرة على الإنسان، فإنهم سيحتاجون إلى حرية التجريب على حيوانات تحوي خلايا بشرية وبذلك لابد من تكوين الخَيمرات.

لقد كان <I. وايزمان> وزملاؤه [في جامعة ستانفورد] رواد التجارب الخَيمرية عندما كوّنوا في عام 1988 فئرانا أجهزتها المناعية بشرية كليا، وذلك بغرض دراسة الإيدز. وفيما بعد اغترس فريق ستانفورد وآخرون خلايا جذعية بشرية في أدمغة فئران وليدة كنماذج أولية للأبحاث العصبية. وباستعماله أجنة النعجة، كوّن <إسماعيل زانجاني> [من جامعة نيڤادا في رينو] حيوانات بالغة اندمجت في كل مكان من أجسامها خلايا بشرية.

وحتى الآن لا يعرف أحد العواقب التي ستنشأ مع تزايد نسبة الخلايا البشرية في الحيوان. فمثلا، تصور <وايزمان> وآخرون أنه سيأتي يوم يمكن فيه أن يُصنع فأر بنسيج دماغي **مؤنسن** humanised كليا. ويضمن برنامج *القضاء المتنامي*، والحجم البالغ الصغر لهذا الفأر الخَيمري، بطريقة شرعية ألا تختلف إمكاناته العقلية اختلافا كبيرا عما لدى الفأر السوي. ولكن ما الذي سيحدث إذا ما اغتُرست الخلايا البشرية في جنين الشمپانزي؟ إن ولادة كائن ما أقل بهيمية لن يكون مستبعدا.

ويمكن لنماذج النسج أن يسهل أيضا نقل الدراسات على الأمراض الحيوانية المعدية (الخامجة) إلى الإنسان. وتكون الأمراض القادرة على اختراق الحاجز بين الأنواع مدمرة على نحو استثنائي، ذلك أن الجهاز المناعي للعائل الجديد يكون غير مُعد لهذه المرضات [يعتقد على نطاق واسع أن جائحة الإنفلونزا (النزلة الوافدة) عام 1918 قد نشأت عن أحد ڤيروسات إنفلونزا الطيور].

ولا تتوافر حاليا معايير عالمية لتوجيه التجارب الخَيمرية. لقد حرم القانون الكندي الخاص **بالتوالد البشري المساعد** (Assisted Human reproduction (Act الخَيمرات البشرية ـ الحيوانية. ولا يوجد في الولايات المتحدة أي تقييد رسمي بهذا الشأن، لكن السيناتور <S. براونباك> [عن كنساس] اقترح في الشهر 2005/3 تشريعا يحرم حماية القانون لعدة أنواع من الخَيمرات، بما في ذلك ما يحتوي منها على كمية مهمة من النسيج الدماغي البشري. ووضعت المعاهد التي تزود المختبرات الأخرى بالخلايا الجذعية البشرية، قيودا إضافية خاصة بها، وذلك فيما يتعلق بالتجارب المسموح بها.

ويمكن، في الولايات المتحدة على الأقل، أن ينبثق اتساق أكبر من الدليل العام حول استعمال الخلايا الجذعية، الذي أوصت به في أواخر الشهر 2005/4 الأكاديمية الوطنية للعلوم (NAS). لقد أوصت هذه الأكاديمية بالسماح عموما بالخَيمرات التي تشتق من معظم الأنواع الحيوانية. ولكنها حثت على تحريم أي استعمال للخلايا البشرية في الرئيسات الأخرى، وكذلك إدخال الخلايا الحيوانية في الكيسة الأُريمية البشرية[2]. وحذرت أيضا من السماح بتوالد الخَيمرات البشرية الحيوانية، ذلك أن بعض الخلايا البشرية قد أفلحت في التسلل إلى خصية الحيوان ومبيضه. ويمكن نظريا لاستيلاد هذه الحيوانات الخَيمرية أن يؤدي إلى النتيجة الرهيبة (التي ستكون بالتأكيد مميتة في معظم الحالات) المتمثلة بإنماء جنين بشري في رحم أم من الحيوانات. ■

<J. ريني>



الخَيمر الأصلي

بحيث يصعب علاجها بصورة فعالة بمجرد إعطاء المريض الأدوية أو حتى بالمعالجة الجينية. وللخلايا الحية، التي تنتج عددا كبيرا من الجزيئات الفعالة بيولوجيا، أمل أفضل في النجاح لمعالجة هذه الأمراض.

ومع أنه لم تُجْر حتى الآن تجارب سريرية على الخلايا ES، فإن الأنماط الأخرى للمعالجة الخلوية أظهرت أن بوسع هذا النوع من الاغتراس أن ينجح في الإنسان. وإضافة إلى اغتراس نقي العظم الذي غدا واسع الانتشار، فإن الأمثلة على هذه المعالجات تشمل استعمال الخلايا الجذعية العصبية المأخوذة من الجنين لمعالجة أمراض دماغية، وخلايا بيتا المفرزة للأنسولين المأخوذة من الجثث لمعالجة داء السكري. ويتخطى النجاح فيما يتعلق بالخلايا ES الأمل بنجاح الخلايا الجسدية، حتى إن الأولى ستعمل أخيرا على نحو أفضل، ولكن البرهان على ذلك سيحتاج إلى إجراء الكثير من الأبحاث الإضافية.

وتتمثل العقبات التي يجب على الباحثين التغلب عليها، بسبل أفضل للحصول بفعالية على الخلايا ES، وبطرائق مجدية أكثر لتعرف هذه الخلايا، ولتحديد إمكانات التنامي الحقيقي لديها، وبأساليب مجدية للسيطرة على تمايزها ونموها داخل الجسم، وبمعرفة فيما إذا كان الجهاز المناعي سيهاجم الخلايا ES أو الخلايا التي ستتمايز منها، وبالحصول على معارف أعمق لميزات الخلايا ES مقارنة بالخلايا الجسدية

(*) Human-Animal Chimeras

(1) namesake: سَمِيٌّ = شخص اسمه كاسم شخص آخر.

(2) human blastocyst

(التحرير)

أصول الخلايا الجذعية الجنينية ومصائرها(*)

تُشتق الخلايا الجذعية الجنينية (ES) من الجزء الذي سيعطي في النهاية كامل الجسم، والموجود في الأجنة في مراحلها المبكرة جدا. وبالنظر إلى أن الخلايا ES ترجع إلى هذه المرحلة البدائية، فإنها تستبقي القدرة كي تكون «متعددة الإمكانات» plurupotent، فتشكل أي نمط خلوي يوجد في الجسم.



مصير الخلايا

بعد انقضاء أقل من أسبوع على إخصاب البيضة البشرية، فإن الجنين المتنامي يحوي ما بين 100 و 150 خلية تقريبا. ويكون الجنين على شكل كرة مجوفة، تعرف بالكيسة الأُريمية(١)، تتألف فقط من كتلة خلوية خارجية، ستشكل، إذا ما تم الحمل، المشيمة. ومن كتلة خلوية داخلية، ستصبح الجنين. وستستمر هذه الخلايا داخل الرحم بالتضاعف، وتبدأ بالتخصص في غضون الأسبوع الثالث: وسيحوي الجنين، الذي يُعرف حينئذ بالمُعيدة(٢)، ثلاث طبقات منشئة germ مميزة، ستشكل أخيرا الخلايا المتحدرة منها مئات النسج المختلفة.

إنماء الخلايا الجذعية الجنينية

بغية إنشاء خطوط من الخلايا ES، يزيل العلماء **الكتلة الخلوية الداخلية** inner cell mass (ICM) من الكيسة الأُريمية، التي أنشئت في المختبر (وتكون عادة قد تُركت بعد محاولات الإخصاب في المختبر). توضع الخلايا ICM على صفيحة تحوي خلايا مُطعِمة، فتسارع إلى الالتصاق بها. وفي غضون أيام قليلة، تنمو خلايا جديدة بدءا من الخلايا ICM، وتشكل مستعمرات (*الشكل العلوي*). تعرف هذه الخلايا بشكل اصطلاحي بالخلايا الجذعية الجنينية(٦) فقط إذا ما عرضت واسماتٍ جزيئية معينة واستطاعت أن تعطي بالانقسام عدة أجيال خلوية مقيمة الدليلَ على أنها تشكل خطا خلويا ثابتا أو خالدا.

(*) The Origins and Fates of Embryonic Stem Cells
(١) blastocyst
(٢) gastrula
(٣) endoderm
(٤) mesoderm
(٥) ectoderm
(٦) embryonic stem cells

ملوثة ومائتة، ولكن مصادق عليها أمريكيا؟[*]

قد لا تتسبب المشكلات المتمثلة بالتلوث وبالشذوذات الجنينية في إيقاف المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية الجنينية.

عندما حظر الرئيس <بوش> في الشهر 2001/8 إنشاء خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية بأموال فدرالية، خفف من تأثير الضربة التي وجّهت للأبحاث الطبية الحيوية بوعده أن أكثر من 60 مستحضرا من الخلايا ES لاتزال متاحة لاستعمالها في تطوير معالجات مستقبلية للمرضى. ومع ذلك، فقد أجبرت قائمة متنامية من المشكلات الخاصة بهذه الخلايا إدارة الغذاء والدواء (FDA) أن تدرس في ما إذا كانت الخلايا المشتقة من هذه المستحضرات آمنة للتجريب على البشر.

وتبين أن 22 خطا خلويا فقط من الخلايا ES التي أجيز استعمالها، وأنشئت قبل الشهر 2001/8، لاتزال عيوشة، وتظل متاحة للباحثين، وذلك على الرغم من أن أسئلة طُرحت حول نوعيتها في ضوء تقدمها بالعمر. ويفترض بهذه الخطوط أن تكون «خالدة»، ولكن عرف عن استبقاء الخلايا في الزرع لمدد طويلة أن هذا الاستبقاء يحرض على تشوهات في الخلايا الأخرى. لذا، فإن المفاجأة لم تكن غير متوقعة كليا فيما يتعلق بالعلماء عندما أخذت تتوالى التقارير عن شذوذات جنينية في بعض الخطوط المسجلة لدى معاهد الصحة الوطنية. وقد فقدت بوضوح بعض الخطوط الخلوية المسجلة الأخرى مقدرتها على إنتاج أنماط خلوية متمايزة، أو أنها قامت بذلك إنما على نحو بطيء فقط.

لقد تحسّنت طرائق التعامل مع الخلايا الجذعية تحسنا كبيرا منذ أن أضحت سياسة الولايات المتحدة قيد التنفيذ. ويعتقد الباحثون أنه يمكن الحفاظ على خطوط خلوية حديثة العهد على نحو صحي أكثر بكثير. وبخاصة أنه كشف النقاب عام 2005 عن نمطين جديدين من أوساط زرع الخلايا ES لا يحتاج النمو فيها إلى مهاد من الخلايا الفارية «المطعمة»[1]، وهي ممارسة استعملت في الماضي في إنماء جميع الخطوط الخلوية الحكومية التي تمت الموافقة عليها. ولقد تم التأكد مؤخرا من صحة المخاوف التي ترى أن الخلايا المسجلة قد تلوثت بجزيئات فأرية، بدراسة أوضحت أن الخلايا ES البشرية التي نميت بهذه الطريقة قد امتصت فعلا بروتينا فأريا ووضعته على سطحها؛ ذلك أنه عندما تم تعريض الخلايا ES التي أظهرت هذا البروتين لمصل الدم البشري، فإن الأضداد الموجهة ضد البروتين الحيواني هاجمت الخلايا ES وقتلتها.

ومع ذلك، فإن «جيرون» Geron في كاليفورنيا ـ وتمتلك حقوق تسعة من الخطوط المصادق عليها حكوميا ـ تقول إنها ستتقدم بطلب في مطلع عام 2006 إلى الإدارة FDA للسماح لها بأن تمضي قدما في استعمال هذه الخلايا في تجارب على الإنسان لتصليح النخاع الشوكي. إن <T. أوكارما> [رئيس «جيرون»] واثق من أن خلايا الشركة نظيفة، وذلك بعد إخضاعها لما يدعوه «قائمة شاملة» من الاختبارات «المعيارية الذهبية»[2] ولم تعلن أي شركة أمريكية أخرى عن تقدمها بطلب رسمي لتجريب مشتقات الخلايا الجذعية الجنينية على الإنسان، بيد أن <J. واكنر> [مدير معهد الخلايا الجذعية التابع لجامعة مينيسوتا] أبلغ في عام 2005 مشرعي الولاية بأن فريقه طلب فعلا موافقة الإدارة FDA لإجراء تجارب من هذا القبيل. ولقد رفض <واكنر> الكشف عن أي تفاصيل أخرى.

كما أن الإدارة FDA لم تعلق على عدد الطلبات التي تلقتها لتجريب مشتقات الخلايا الجذعية، أو على الموعد الذي سيتخذ فيه القرار. إن إمكان التلوث الحيواني لا يحول آليا دون استعمال الخلايا المسجلة في الإنسان ـ إن الاغتراس الغريب لصمامات قلب الخنزير، وحتى اغتراس نقي عظم الرباح baboon في الإنسان، نال في الماضي موافقة الإدارة FDA. وكانت الملاحظة الوحيدة التي تفوه بها ناطق بلسان هذه الإدارة هي أن القرار سيُبنى على الأهلية العلمية للتجارب المقترحة، وليس على السياسة ■

<C. سورز>



لقد تلوثت الخلايا الجذعية الجنينية التي نميت في المختبر بمواد أتت من الخلايا الفارية الداعمة والموجودة في وسط الزرع، الأمر الذي يجعل الإفادة منها في معالجات مستقبلية موضع شك.

وذلك فيما يتعلق بالتطبيقات المختلفة.

وفي حين أن الاستعمال المباشر للخلايا الجذعية في معالجة المرضى هو ما يستثير كثيرا السياسيين والجمهور، فإن عددا كبيرا من العلماء يرى أن الفوائد الطبية الرئيسية ستكون غير مباشرة، وذلك عبر استعمال هذه الخلايا في البحث العلمي لتحسين المعالجات الأخرى. فإذا ما تمكن الباحثون من فهم طبيعة الإشارات الجينية والكيميائية المعقدة، التي تضبط نمو الخلايا الجذعية وتمايزها، فإن النتائج ستكون، فيما يتعلق بالطب، ذات فوائد هائلة. وعلى الخلايا ES أن تجعل من الممكن تطوير نماذج لتنامي النسج ووظيفتها التي ستمكن الكيميائيين من اختبار الأدوية المحتملة بطرائق أكثر فاعلية.

فمثلا، إذا أمكن توجيه الخلايا ES المشتقة من أجنة تبين بالمسح الجيني أنها تحمل جينات التليف الكيسي لتصبح خلايا رئوية متليفة كيسيا، فإن ذلك سيمهد الطريق أمام دراسة هذا المرض، وأمام اختبار معالجات له. وفيما يتعلق بالكيميائيين الصيدلانيين، وخلافا للبيولوجيين، فإن تصور الطب التجددي يشتمل على إيجاد أدوية علاجية ـ ستكون مثالية إذا ما كانت على شكل جزيئات صغيرة، بوسع المرضى تناولها عن طريق الفم لتنبيه نسجه[م] كي تتجدد ـ وليس مجرد التجريب العشوائي للمعالجة الخلوية.

مازال العلم غير أكيد على الإطلاق كي[ي] يكشف لنا عن الكيفية التي ستتطور وفقها أبحاث الخلايا الجذعية والطب التجددي وربما يحتاج الأمر إلى جيل آخر أو جيلين قبل أن يساعدنا التقدم الكبير للبيولوجيا الذي حدث في أواخر التسعينات، على جني فوائد سريرية مهمة. ولكن المكافأة الطبية ستكون أخيرا مذهلة. ■

(*) Dirty and Dying, but US-Approved?

(1) bed of mouse "feeder" cells

(2) gold standard

القرينة الاستنساخية(*)

قد تتغلب النسج المستنسخة من الخلايا الجذعية على الرفض المناعي.

غالبا ما يشعر علماء الخلايا الجذعية بالغضب للطريقة التي يخلط فيها الناس بين أبحاثهم وبين الاستنساخ، مع أن الاستنساخ لا يؤدي أي دور في معظم أبحاث الخلايا ES، التي تُجرى حاليا. ويتمثل أحد الأسباب لهذا الخلط في أن الحقلين كليهما يشتملان على إنشاء الأجنة.

وقد يوجد سبب ثان لهذا الخلط، ويتمثل في مصادفة التوقيت. فلقد تم لأول مرة زرع الخلايا ES البشرية مباشرة بعد ولادة «دولّي»، ولفت المعلقون النظر فورا إلى الإمكان المتمثل بدمج الاكتشافين معا. وتم ابتكار المصطلح **الاستنساخ العلاجي** therapeutic cloning لوصف إنشاء جنين مستنسخ كمصدر للخلايا ES، ويتم في هذه السيرورة تدمير الجنين. وبالمقابل، فإنه يتم في **الاستنساخ التوالدي** reproductive cloning إنتاج طفل بدءا من الجنين المستنسخ.

ومع ذلك، لا يمكن الإنكار أن الاستنساخ يشكل بندا مهما في برنامج (اجندا) agenda أبحاث الخلايا الجذعية، ذلك أن الاستنساخ يبدو الأسلوب الأفضل للتغلب على مشكلة سريرية جدية، تتعلق باغتراس الخلايا والأعضاء، وتتمثل بالرفض المناعي. فالجهاز المناعي يهاجم أي طعم لا يكون من الناحية الوراثية مثيلا للمريض، وحتى في حال غريسة حسنة التطابق، فإن نجاح الاغتراس يتطلب معالجة تستمر مدى الحياة بعقاقير كابتة للجهاز المناعي؛ وهذه معالجة ذات تأثيرات جانبية خطيرة، بما في ذلك استعداد متزايد للعدوى (للخمج) وللسرطان.

ويتم في الاستنساخ العلاجي استعمال تقنية **نقل نواة الخلية الجسدية** somatic cell nuclear transfer (SCNT)، وهي التقنية التي تم بوساطتها إنشاء «دولّي». فنواة خلية ما من خلايا المريض تُنقل إلى بيضة تم التبرع بها وأزيلت نواتها. تنبَه عندئذ البيضة لتسلك وكأنه قد تم إخصابها، لتتنامى إلى جنين يمكن أن يصبح مصدرا للخلايا ES، يكون دناها DNA ذات دنا المريض [يشير معارضو الاستنساخ إلى أنه يمكن اغتراس هذا الجنين في الرحم لينمو إلى رضيع.]

ولكن مما يؤسف له أن التقنية SCNT هي سيرورة غير فعّالة في الحيوان، كما في الإنسان. إن أول التقارير الموثوقة علميا عن الاستنساخ البشري نشر في العام 2004 من قبل «W. S. هونك» وزملائه [من جامعة سيول الوطنية]. لقد استعمل هذا الفريق 242 بيضة ليحصل على 30 جنينا مبكرا، اشتقوا منها خطا واحدا عيوشا من الخلايا ES. وتمتلك كوريا الشمالية مزرعة من الخلايا المتبرع بها للبحث العلمي، مكّنت العلماء من الحصول على بيوض جيدة النوعية.

وفي الواقع، حتى لو أمكن جعل الاستنساخ العلاجي فعالا، فإنه يصعب تصور الحصول على عدد كاف من البيوض البشرية، وجعلها متاحة لاستعمال التقنية على نطاق واسع في العيادات [ما لم يحدث اختراق تقني غير متوقع].

بيد أن العلماء يأملون في المستقبل القريب استخدام الاستنساخ العلاجي كأداة بحثية للتوصل إلى فهم جديد للأمراض. وفي حين أنه يمكن دراسة الاضطرابات الوراثية، كالتليف الكيسي مثلا، بوساطة اشتقاق خلايا ES من أجنة عرفت أنها تحمل هذه الجينة المعيبة الوحيدة موضوع الدراسة [*انظر المقالة الرئيسية*]، فإن هذا غير ممكن في حال أمراض تنشأ عن جينات أو عوامل غير معروفة ومتعددة.

لقد أعلنت في الشهر 2005/6 مجموعة <هوانك> في كوريا عن اشتقاق خطوط من الخلايا ES استنسخت من مرضى يعانون طيفا من الأمراض الوراثية أو إصابة في النخاع الشوكي. وقد تحسنت أيضا كفاية السيرورة؛ إذ أنتجت 185 بيضة بشرية تم التبرع بها، 31 جنينا مستنسخا و11 خطا من الخلايا ES. وأكدت الاختبارات المختبرية أن كل خط خلوي متوافق مناعيا مع المريض الذي اشتق منه.

وفي غضون ذلك يتطلع باحثون آخرون إلى مقارنة بديلة لتخفيف الرفض المناعي للخلايا الجذعية؛ حتى إن البعض يرى أن موضوع الرفض المناعي بكامله قد بولغ فيه، ذلك أن خلايا الكيسة الأُريمية والجنين هي بطبيعتها أقل استمناعية(1) من الخلايا البالغة. ويلفتون النظر إلى أن الغرائس العصبية مثلا، التي ستستعمل في معالجة داء باركنسون، ستفيد من حقيقة أن الجهاز المناعي يكون في الدماغ أقل فاعلية من مناطق الجسم الأخرى.

وتتمثل إحدى المقاربات بهندسة الخلايا الجذعية بطريقة ما تجعلها أقل استمناعية، أو أكثر توافقية مع المريض. وهنالك بديل آخر أكثر تطرفا يتمثل بطمس الجهاز المناعي للمريض طمسا كليا، وإعادة بنائه من جديد بحيث يطابق الخلايا المغترسة. كما أن بعض الباحثين روّج لفكرة أكثر تطرفا بكثير، وتتمثل بتطوير «خلايا مانحة عامة»(2)، يمكنها أن تتوافق مع أي فرد من الأفراد؛ بيد أنه ليس من الواضح فيما إذا كانت أي من هذه الطرائق قد تنجح عند التطبيق العملي.

وهنالك مشروع طويل الأمد، ربما أقل طموحا، إنما أكثر قابلية للإنجاز، يتمثل بفكرة تخفيض الرفض المناعي إلى الحد الأدنى، عوضا عن استبعاده كليا، وذلك بالإنشاء التدريجي لبنك من الخلايا الجذعية يشتمل على عدد كبير من مئات الآلاف الخطوط الخلوية، ويمثل بقدر الإمكان طيفا كاملا من السمات المناعية. ويمكن عندئذ لأي مريض بحاجة إلى خلايا جذعية يتوقع الحصول على خلايا ذات تطابق جيني جيد إن لم يكن كاملا. ■

<.C.C>

قد يُمكِّن الاستنساخ العلاجي من تكوين أعضاء من أجل الاغتراس التعويضي.

(*) The Cloning Connection

(1) immunogenic

(2) universal donor cells

عُمال التصليح من داخل الجسم(*)

قد تنجو الخلايا الجذعية البالغة من الجدل الأخلاقي، الذي يدور حول نظيراتها ذات الأصل الجنيني. ولكن كما تلاحظ <C. سورز>، فإن أهميتها السريرية العملية لاتزال شديدة الغموض.

مازال استعمال الخلايا الجذعية في المعالجات السريرية فكرة مستقبلية تتوهج بالآمال، بيد أن لإحدى هذه المعالجات تاريخا من النجاح يرجع إلى ما قبل 40 عاما تقريبا. فلقد تمت معالجة عشرات الآلاف المرضى بغرائس من نقي العظام، واتضح أن تسريب خلايا جذعية صحيحة بوسعه أن يجدد قسما من الجسم كف عن أداء وظيفته. وكان قد قاسى مرضى معظم هذه المعالجات اضطرابات ولادية دموية أو مناعية، أو أن نقي العظام لديهم كان قد تأذى بسبب المعالجة السرطانية. ونتيجة لذلك، فإن الخلايا الجذعية المكونة للدم في نقي عظامهم، التي تنتج يوميا في الحالة السوية بلايين الخلايا الدموية والمناعية، تحتاج إلى الاستبدال.

ومنذ عام 1968، أصلحت هذه الغرائس بنجاح كبير قدرة المريض على صنع خلايا دموية ومناعية صحيحة. ومع اكتشاف العلماء، في العقد الماضي أنماطا إضافية من الخلايا الجذعية في كل مكان من الجسم البشري، تنامت الحماسة لإمكان استبدال أقسام أخرى من الجسم كفت عن أداء وظائفها، وذلك بتجديدها أيضا عن طريق غرائس من الخلايا الجذعية.

ومع تنامي معارف الباحثين فيما يتعلق بخصائص الخلايا الجذعية وسلوكها، فإن اتفاقهم يتناقض فيما يبدو حول الإجابة عن أسئلة أساسية تماما، تتعلق بالهوية الحقيقية لهذه الخلايا، وبالمكان الذي تنشأ فيه، وما الذي تستطيع أن تقوم به فعلا، وكيف تنجز ذلك. بناء على ذلك، ومع أن الخلايا الجذعية البالغة قد لا تستثير الكثير من الجدل السياسي القائم حاليا، فلقد أصبحت من الناحية العلمية أكثر إثارة للجدل من نظيراتها الخلايا الجذعية الجنينية.

تشتق الخلية المكونة للدم (الأرجواني) من نقي العظام. إنها أولى الخلايا الجذعية البالغة التي استعملت علاجيا لتجدد خلايا الدم والمناعة عبر اغتراس نقي العظام.

ولحسن الحظ، فإن معظم الباحثين قد يتفق كحد أدنى على تعريف أساسي: على الخلية الجذعية (سواء كانت جسدية (بالغة) أو جنينية) أن تجدد نفسها تجددا لانهائيا عبر الانقسام الخلوي، وتستبقي في الوقت نفسه حالتها الجنسية، محتفظة بإمكاناتها لتنشئ خلايا بنات ذات أنماط متخصصة أكثر. ويبدأ هذا النتاج الخلوي بأن يمايز نفسه بصورة جزئية، محتفظا في الوقت نفسه بنوع من المرونة يسمح له بأن يعمل كسليفات لتنوعات خلوية عديدة في عضو أو جهاز خاص [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. فمثلا، يمكن للخلايا المتحدرة من الخلايا الجذعية الخاصة باللحمة المتوسطة(1)، التي توجد في نقي العظام، أن تصبح عظما أو غضروفا أو خلايا دهنية وأنواعا مختلفة من الخلايا العضلية والخلايا التي تبطن الأوعية الدموية (أي البطانة).

ومع أن النسج التي تتشكل من الخلايا الجذعية لنقي العظام تبدو على ما يظهر متباينة، فإن لها صفة مشتركة واحدة. فعندما يبدأ جسم الإنسان بالتشكل، تنشأ جميع هذه الخلايا من الطبقة الوسطى، أو الأديم المتوسط للجنين المتنامي. وتشكل هذه الحقيقة محورا لأكثر الأسئلة أهمية، والذي تتم مناقشته من قبل علماء الخلايا الجذعية، ويتمثل فيما إذا كانت الخلايا الجذعية البالغة قادرة على التحور تمايزيا؛ أي إنها قادرة على إنتاج نسج جديدة وظيفية خارج سُلالة طبقتها الجنينية. ويمكن للإجابة عن هذا السؤال أن تكون حاسمة فيما يتعلق ببعض المعالجات التجددية الطموحة القائمة على الخلايا الجذعية الجنينية.

لقد اعتبرت الخلايا الجذعية البالغة تقليديا ذات إمكان محدد، وهو أنها تستطيع أن تنتج فقط تنوعات خلوية تقع فقط ضمن سُلالتها الخاصة بها. لذا، فهي توصف عادة بأنها **عديدة الإمكان** multipotent، وليس **متعددة (كثيرة) الإمكان** pluripotent كالخلايا الجذعية الجنينية؛ بيد أن كثيرا من المجموعات البحثية ادعت في السنوات الأخيرة أنها استطاعت أن تجعل الخلايا الجذعية تتجاوز الخطوط السُّلالية الخاصة بها. فمثلا، حُولت الخلايا الجذعية المولدة للدم إلى كبد، والخلايا الجذعية العصبية إلى أوعية دموية، وخلايا اللحمة المتوسطة إلى عصبونات.

ففي عام 2002، وصفت <C. فيرفيلي> [من جامعة مينيسوتا] في بادئ الأمر خلية جذعية بالغة جديدة من نقي العظام، يمكنها أن تنتج أنماطا خلوية من السُّلالات الجنينية الثلاث، وأطلقت عليها اسم **الخلية السليفة البالغة العديدة الإمكان** multipotent adult progenitor cell (MAPC). وتفكرت <فيرفيلي> أن مرونة هذه الخلية قد تكافئ الخلية الجذعية الجنينية. وفي الواقع، فإنها اعتقدت أن الخلية MAPCs هي خلايا جنينية لم يَطَلْها التنامي التمايزي، فهي تعمل وفقا لآلية تصليحية شاملة ترمم بوساطتها الجسم البالغ.

وبالتأكيد، فإن خلية من هذا النمط أحادية الحجم وتلاؤم الخلايا الجذعية جميعها، قد يحلان معضلة تجدد النسج التي لم يتم فيها اكتشاف سليفات موضعية، كما هي الحال في القلب، أو حيث تكون الخلايا الجذعية الموضعية بالغة الندرة ويصعب الحصول عليها، كما هي الحال في الدماغ. ولكن مما يؤسف له، أن باحثين آخرين واجهوا صعوبات جمة فيما يتعلق بإنتاج بعض نتاجات الخلية MAPC، ولايزال الباحثون المعنيون يبحثون عن الإمكان الحقيقي لهذه الخلايا. وقد ألقى أيضا التفحص التالي ظلالا إضافية من الشك على كثير من الزعم المتعلق بالتمايز التحويري، وذلك فيما يتعلق بأنماط أخرى من الخلايا الجذعية البالغة.

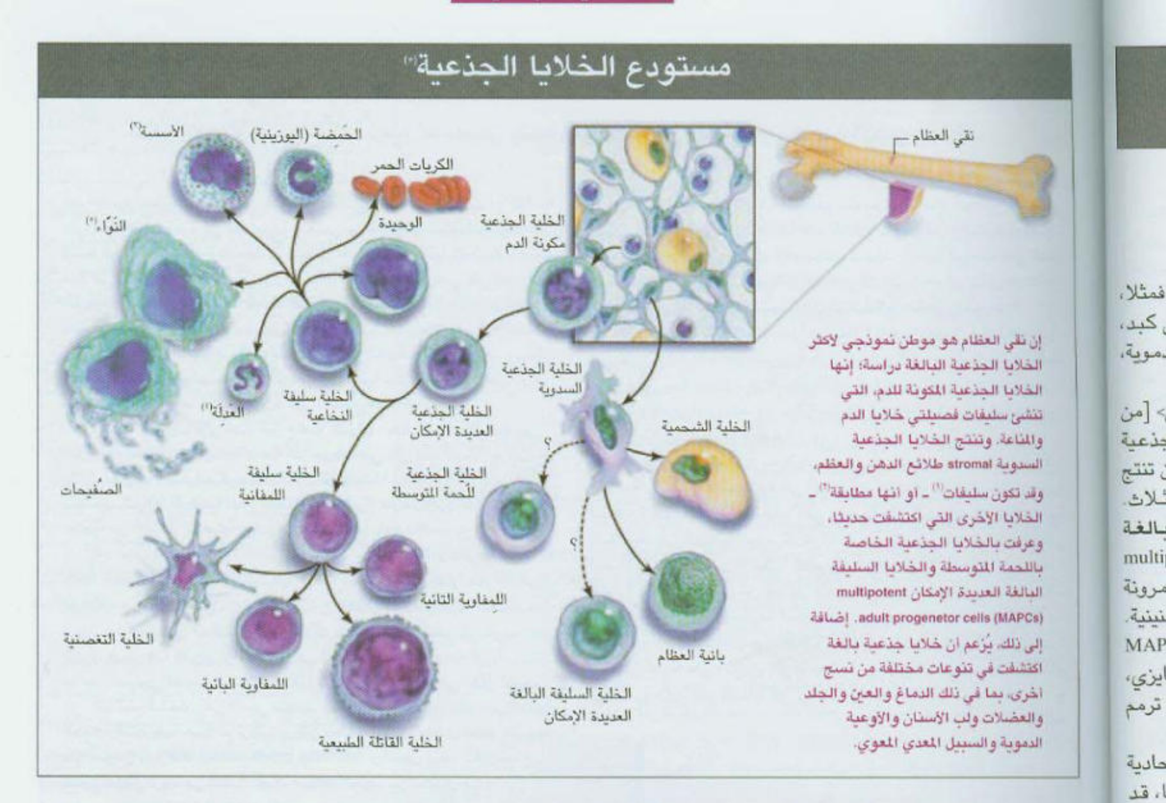
وحتى في النسج ذات السلالة الواحدة، فإن اغتراس الخلايا الجذعية لا ينجح دائما على نحو متميز. وعلى وجه التخصيص، فإن المحاولات لصنع خلايا جذعية أخذت من الدم أو من نقي العظام، وولدت نسيجا جديدا في القلب، عرضت نتائج متضاربة.

وقد لوحظ أحيانا في التجارب السريرية، التي تناولت مرضى تندبت قلوبهم نتيجة هجمات قلبية، تجدد نسيجي بسيط. ويحدث

(*) REPAIR WORKERS WITHIN

(1) mesenchyme

مستودع الخلايا الجذعية[*]



إن نقي العظام هو موطن نموذجي لأكثر الخلايا الجذعية البالغة دراسة؛ إنها الخلايا الجذعية المكونة للدم، التي تنشئ سليفات فصيلتي خلايا الدم والمناعة. وتنتج الخلايا الجذعية السدوية stromal طلائع الدهن والعظم. وقد تكون سليفات[١] ـ أو أنها مطابقة[٢] ـ الخلايا الأخرى التي اكتشفت حديثا، وعرفت بالخلايا الجذعية الخاصة باللحمة المتوسطة والخلايا السليفة البالغة العديدة الإمكان multipotent adult progenetor cells (MAPCs). إضافة إلى ذلك، يُزعم أن خلايا جذعية بالغة اكتشفت في تنوعات مختلفة من نسج أخرى، بما في ذلك الدماغ والعين والجلد والعضلات ولب الأسنان والأوعية الدموية والسبيل المعدي المعوي.

مثل هذا التحسن حتى في الحالات التي لم تعثر فيها الدراسات على دليل على أن الخلايا الجذعية أسهمت بأي خلايا جديدة للعضو الملتئم. ومفتاح هذا التناقض الظاهري قد يكمن في أن الخلايا الجذعية بوسعها أن تفرز كيماويات نمو تأشيرية، وتسهم في تشكيل أوعية دموية جديدة. وبكلمة أخرى، فقد لا تنتج الخلايا الجذعية لنقي العظام المغترسة بحد ذاتها خلايا قلبية جديدة، بل قد تنشئ شبكة قاعدية أساسية لخلايا قلبية تشكل سليفات خلايا قلبية لم تكتشف بعد وتنجز السليفات المجهولة العمل التجددي.

ويحاول معارضو إجراء المزيد من التجارب على الإنسان البرهان على أن إنجاز مثل هذه الغرائس قبل الفهم الكامل للآليات التجددية الفعالة، يُعرِّض المرضى على نحو غير ضروري لخطر نمو ما يشبه الورم، أو لضربات قلبية شاذة. بيد أنه بغياب بديل فعال لمرضى بحالة قصور قلبي، فمن المرجح أن يستمر التجريب، الأمر الذي يجعل إمكان تصليح القلب التطبيقَ الأول الأوسع انتشارا للمعالجة بالخلايا الجذعية البالغة، وذلك بعد الاغتراس التقليدي لنقِي العظام.

وقد لا تكون المعالجات ذات الشروط الأقل تهديدا للحياة أقل انتشارا. وتتقدم فعلا على نحو مستمر تجارب سريرية لاختبار مدى سلامة مواد يُبنى منها الثدي وتنشأ عن خلايا جذعية توجد في النسيج الدهني. وفي العامين الفائتين اكتشفت أيضا خلايا جذعية في كل من الجلد والشعر، وستأخذ هذه الخلايا بالتأكيد مكانها في الأعمال التجميلية. ويأمل الباحثون في نطاق الأسنان أن يجعلوا الخلايا الجذعية التي اكتشفت في الأسنان وحولها أن تجدد ميناء السن أو تاجها، مع العلم بأن إنماء سن جديدة كليا من لا شيء قد يكون أقرب إلى الإنجاز مما ستنشئه الخلايا الجذعية قريبا.

وحتى الآن، كان الإنجاز الأفضل للخلايا الجذعية عندما تم تطبيقها ضمن السُّلالة الخاصة بها حيث تنتج كمية ضئيلة من النسيج الجديد، أو تدعم التجدد الطبيعي. فمثلا، في الشهر 2004/12 أعلن أطباء ألمان أنهم أصلحوا فضوة كبيرة في قحف فتاة صغيرة باستعمالهم تضامية من طعم عظمي وخلايا جذعية اشتقت من خلايا النسيج الدهني لهذه الفتاة.

وتتعاظم فعلا شعبية حقن الخلايا الجذعية المشتقة من النسيج الدهني كوسيلة لتسريع التئام إصابات العظام والغضاريف في الخيل. ويمكن الإفادة من هذه الخلايا في الإنسان أيضا لاستعمالات معينة، ذلك أن جني هذه الخلايا أسهل من جني الخلايا الجذعية الخاصة باللحمة المتوسطة لنقِي العظام؛ بيد أن الباحثين وجدوا أن هذا النمط من الخلايا، شأنه شأن الخلايا الجذعية البالغة التي جرت دراستها حتى الآن، يُبدي ضعفا واضحا في نشاطه. أما في المراحل المتأخرة من الحياة، حيث تكون الحاجة إلى التصليح أكثر احتمالا، فإن الخلايا الجذعية للشخص نفسه لن تشكل الرهان الأفضل.

فإلى أين يتجه المريض إذًا؟

ويتمثل أحد المصادر الكامنة للخلايا الجذعية العلاجية الطازجة بالنسج المتبرع بها من الأجنة الناتجة من إخفاق الحمل أو الإجهاض. وتصنف هذه الخلايا على أنها

(*) Stem Cell Storehouse
(١) progenitors
(٢) identical
(٣) basophil
(٤) neutrophil
(٥) magakaryocyte

أيها المريض: اشفِ نفسك[*]

يمكن لإنعاش الخلايا الجذعية لجسم أن يشكل لهذا الجسم المعالجة الجديدة الأكثر بساطة.

تُعد القدرة الفطرية للجسم على التجدد الأساس الذي تسعى المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية كي تضاهيها وتحسن من فاعليتها. ولهذا السبب، فإن أبسط السبل لكثير من المعالجات قد تشتمل على تعبئة الخلايا الجذعية المختبئة فعلا في داخل جسمنا وتفعيلها. ويركز حاليا جهد بحثي رئيسي على تعلم اللغة الكيميائية الدقيقة التي توجه سلوك الخلايا الجذعية في أثناء الالتئام الطبيعي للجرح. ويوسع الفهم التام لسيرورة هذا الالتئام أن يساعد في بعض الحالات على استبعاد الحاجة إلى تسريب خلايا تمت تنميتها في المختبر. ويمكن للإيماءات الكيميائية الصحيحة أن ترمم حتى فاعلية خلايا المرضى المتقدمين في السن. ومع أن الفوائد الكامنة كثيرة، فإن الأخطار ماثلة أيضا.

وبغية الوقوف على أحد أنواع هذه الفوائد، يمكن النظر إلى عقبول[1] تدريب مفرط تقاسي العضلات منه ألما مبرحا. في مثل هذه الحالة، ترسل كل خلية بمفردها إشارات كيميائية، وكأنها تستغيث طالبة العون. وعندئذ تستجيب الخلايا الجذعية لهذه الاستغاثة مباشرة، فترحل إلى المواقع المجهرية المتأذية من الألياف العضلية وتشرع في إجراء ما يتطلبه التصليح.

لقد نُسب في مطلع عام 2005 لبروتين اكتشف حديثا وأُعطي الاسم **دلتا** Delta خاصة تجديد الخلايا الجذعية البانية للعضلات في الفأر. فقد قام فريق بجامعة ستانفورد يقوده <T. راندو> بقرن فئران هرمة بفئران فتية بوصل جهازيهما الدورانيين أحدهما بالآخر، بحيث يدور دم الفأر الفتي في أوردة الفأر الهرم، فوجد هذا الفريق أن شيئا ما في الدم الفتي، يفترض أنه البروتين دلتا، قد جدد مستوى الفاعلية الشبابية للخلايا الجذعية التي توجد في الفأر الهرم.

لقد نجح الباحثون في المضي بتحديد الكتلة العضلية للحيوانات عبر المعالجة الجينية التجريبية حيث تم تركيب بروتين مختلف يعرف **بعامل النمو الشبيه بالأنسولين** (IGF - 1) insulinlike growth factor-1. وبالفعل، فلقد كان نجاح التجارب على درجة من التميز بحيث استثار الخوف من احتمال قيام رياضيي المستقبل «بتنشيط عضلاتهم جينيا». وقد استثار العامل IGF-1 في البداية فاعلية الخلايا الجذعية، ولدى تضخيم تأثيره، استطاع أن يستدعي إلى منطقة الإصابة خلايا جذعية تقطن مناطق بعيدة. لذا، فإن بعض الباحثين يرى أنه عوضا عن الحاجة إلى اغتراس خلايا جذعية تجدد النسيج المتأذي نتيجة الهجمة القلبية، فإنه يمكن لجرعة من العامل IGF-1 أن تستهل التصليح بوساطة الخلايا الجذعية الجائلة فعلا في الدورة الدموية، أو المخبأة داخل القلب نفسه. وقد تنجح مقاربة مماثلة في أي عضو أو نسيج ما إذا ما تعرف العلماء أيا من الإشارات التي ستستدعي الخلايا الجذعية الصحيحة كي تشرع في العمل.

ولعل ما هو أكثر أهمية هو تعرف كيف يمكن إيقاف فاعلية الخلايا الجذعية بعد أن تكون قد أنجزت عملها التصليحي. وقد تكون من بين أكثر المفاجآت تشاؤما ما تكشفت عنه مؤخرا أبحاث الخلايا الجذعية في السنوات الأخيرة من حيث علاقة هذه الخلايا ببعض أنواع السرطان. ويُعرف ابيضاض دم واحد على الأقل، أنه نجم عن انحراف الخلايا الجذعية لنقي العظام عن مسارها السوي. ويشتبه حاليا أيضا في أن أنواعا معينة من سرطان الدماغ والمعدة والثدي قد استثيرت نتيجة تحول الخلايا الجذعية إلى خلايا خبيثة.

وترى إحدى النظريات أن هذا قد يحدث عندما تعلق الخلايا الجذعية، التي تكون عادة هاجعة، بسيرورة طراز تصليح الجرح. فاستبقاؤها مفعلة لفترة أطول مما يجب يجعل الخلايا الجذعية عرضة للطفر، فتصبح عندئذ كابوسا بيولوجيا: أي تصبح خلايا سرطانية شاذة تمتلك، في الوقت نفسه، المقدرة التكثيرية للخلايا الجذعية.

لقد توصل الباحثون فعلا إلى طرائق تعيد بوساطتها قرينة الخلايا الجذعية/ الخلايا السرطانية إلى نفع المريض نفسه. لقد تم استثمار غريزة الخلايا الجذعية للاستتباب[2] في تجارب على الحيوان كي تنقل «جينة انتحارية» إلى الخلايا الورمية، تاركة النسج السوية دون أي تأذ. كما أن التماثل الفيزيائي بين الخلايا السرطانية والخلايا الجذعية أنتج مؤخرا اختبارا ميكانيكيا يجعل من السهل التمييز في دم الشخص بين نمطي الخلايا الجذعية والسرطانية. وبطبيعة الحال، تُبذل جهود حثيثة بغية تعرف حقيقة لغة التأشير، التي تتخاطب بوساطتها الخلايا الجذعية كي يتم تحويل قدرة الشخص نفسه على الالتئام إلى ما يمكن أن يتضح أنه سيرورة يمكن التحكم فيها بحيث تكبح نمو الخلايا الورمية. ■

<C.S>

بالغة adult، ذلك أنها توجد ضمن خلايا متمايزة. بيد أن الفتوة المبكرة لهذه الخلايا تمنح العلماء الأمل أنه عندما يتم اغتراسها ستتلاءم بسهولة مع محيطها الجديد وتُنتج بفاعلية خلايا جديدة.

ويمكن لاختبار مهم لكل من الخلايا الجذعية الجنينية، ولإمكانات المعالجات الدماغية ذات الأساس الخلوي عموما، أن يتحقق في هذا العام (2006)، إذا ما حصلت الشركة Stem Cell Inc. على موافقة الحكومة الأمريكية على تجربتها السريرية المقترحة. وتخطط هذه الشركة، التي أسهم في تأسيسها <F. كيج> [من معهد سولك، والذي اكتشف لأول مرة الخلايا الجذعية العصبية] أن تغترس خلايا جذعية عصبية جنينية في أدمغة أطفال مصابين بداء باتن Batten. وينشأ هذا المرض المميت عن إخفاق الدماغ في إنتاج إنزيم يزيل ماء الخلايا. فإذا ما أنشأت الخلايا الجذعية خلايا دماغية جديدة صحيحة تنتج الإنزيم المفقود، فإنه يمكن للمعالجة أن تخفف أعراض المرض، وينطوي ذلك على احتمالات مثيرة لمعالجة اضطرابات دماغية مماثلة أخرى.

وفيما يتعلق بعلماء الغرب، ستكون تجربة «باتن» الاغتراس الأول لخلايا جذعية عصبية في دماغ الإنسان، وهي بيئة يخشى البعض من أن تكون صعبة فيما يتعلق بالمعالجة بالخلايا الجذعية. وخلافا للجلد والكبد والنسج الأخرى التي تصلح نفسها بعد الإصابة بصورة طبيعية، فإن الدماغ والنخاع الشوكي والنسج العصبية الأخرى

(*) Patient, Heal Thyself
(1) aftermath
(2) homing

لا تقوم بذلك، وما من أحد متأكد تماما لماذا لا يحدث ذلك. إن مجرد وجود الخلايا الجذعية العصبية البالغة يوحي بضرورة استطاعتها أن تعوض عن النسيج العصبي المتأذي. وقد حث إخفاقها في القيام بذلك على التخمين أن شيئا ما يعمل على تثبيطها.

وفي بداية عام 2005، أعلن باحثون من معهد شيپنس Schepens لأبحاث العيون في بوسطن بماساتشوستس عن اختراق يتعلق بهذه المعضلة. فبمجرد أن نابلوا[3] الجينة المسؤولة عن إرسال إشارات «إحصارية»[4] إلى الخلايا الجذعية، استطاعوا أن يعيدوا إنماء الأعصاب البصرية المتأذية للفئران. وتركز التجربة الانتباه على مقاربة جديدة واعدة للمعالجة بالخلايا الجذعية. وتتلخص الفكرة بتعلم لغة الإشارات، التي توجه في الحالة السوية سلوك الخلايا الجذعية على نحو يمكنها من أن تعبئ الخلايا الجذعية الخاصة بالمريض كي تقوم بالتصليح اللازم وفقا للطلب [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*].

إن دراسة الإيماءات التي ترسلها الخلايا الجذعية وتتلقاها في بيئتها الطبيعية، آخذة أيضا بتحسين الفهم الأساسي للعامل الذي يمنح الخلية الجذعية كمونها. فإذا كان سر «**الجذوعية**» stemness بسيطا ويتمثل بتفعيل جينات خاصة في مرحلة نوعية، يمكن عندئذ من حيث المبدأ لأي خلية في الجسم أن تتحول إلى خلية جذعية، وسيتم ذلك عندئذ وفقا للحاجة [*انظر الإطار في هذه الصفحة*].

ويرجح أن تكشف الأبحاث التي تتقدم باستمرار حول كل من الخلايا الجذعية البالغة والجنينية عما إذا كان هذا التفعيل عمليا. وحتى الآن، فإن الخلايا الجذعية البالغة تبدو وكأنها تفتقر إلى الشمولية، التي تميز أقرانها الجنينية. وحتى في وسط نسجها الخاصة بها، فهي تبدي تناقصا في فاعليتها. ومع هذا، فإن أنماطا معينة من الخلايا الجذعية برهنت فعلا على أنها ذات نفع كبير لتجديد ولتصليح محدودين. وتعد الأبحاث المختلفة العالمية النطاق، التي تتمحور حاليا حول هذه الخلايا، أن تكشف أكثر فأكثر عن قوة جهاز التصليح الخاص بالجسم. ■

<C. سورز>

إنتاج خلايا جذعية عند الطلب(*)

إن تحويل النسيج العضلي إلى عظمي، وإعادة نمو الأعضاء قد يكون ثمرة أبحاث إزالة التمايز.

ما الذي يستطيع فعله سلمندر newt[1] بسيط، ويحاول الإنسان تعلمه؟ إن البرمائي الصغير يستطيع أن يجدد طرفا قطع بكامله، أو عضوا أزيل برمته، بأن يصادر خلايا جسدية متمايزة ـ عظمية وجلدية وعضلية، وهلم جرا ـ ويرجع ساعتها البيولوجية إلى الوراء كي تصبح في حالة إزالة تمايز **جذوعية** stemness. وينشئ السلمندر هذه الخلايا الجذعية آنيا في موضع الإصابة حيث تبدأ فورا بإعادة بناء الجزء المفقود من الجسم.

وعلى العكس من ذلك، فما إن تسير خلايا الثدييات في طريق تمايزها لتصبح خلايا عظمية أو جلدية أو دماغية، حتى تصبح العودة إلى الوراء في الحالة السوية غير واردة. ويقال عن هذه الخلايا إنها في مرحلة التمايز النهائي. ومع ذلك، إذا تمكن الإنسان من إزالة التمايز، فلن يتوجب على الأطباء أن يتصيدوا خلايا جذعية نادرة ومراوغة داخل الجسم، أو أن يحاولوا قسر خلايا جذعية من نسيج ما لتجدد نسيجا من نمط آخر. وعوضا عن ذلك، يمكن لخلية الپنكرياس العادية أن تتحول إلى سليفات الخلايا المنتجة للأنسولين التي فُقدت في داء السكري من النمط 1. ويمكن للخلية العصبية السوية أن تصبح مصنعا لعصبونات تستعمل في تصليح الدماغ والنخاع الشوكي.

إن الأبحاث في هذه المقاربة قد بدأت للتو، بيد أن النتائج المبكرة مشجعة ومحيرة في آن واحد. فقد بيّن في بادئ الأمر <M. كيتينك> وزملاؤه [من كلية طب جامعة هارڤارد] عام 2001 أن إزالة التمايز في الثدييات قد تكون ممكنة، وذلك بنكوص الخلايا العضلية للفأر لدى معالجتها بخلاصة أطراف السلمندر الآخذة في التجدد. لقد عزوا الارتداد إلى پروتينات توجد في الخلاصة، وقد عملت على تفعيل جينة واحدة أو أكثر في النسيج المعالج.

وفي عام 2004 أعلن أيضا فريق من معهد أبحاث سكرايپس إزالة تمايز الخلايا العضلية للفأر، ثم إعادتها لتتمايز إلى خلايا عظمية أو دهنية. لقد استعمل الفريق جُزيئا كيميائيا صغيرا، عثر عليه بطريقة التجربة والخطأ، وأسماه **ريڤيرسين** reversine، بيد أن الفريق غير واثق كيف يعمل هذا الجزيء.

ويدرس آخرون البيئة الطبيعية، أو **العش** niche، الذي تستوطنه عادة الخلايا الجذعية داخل الجسم كي يتعرفوا العوامل البيئية، التي يمكن أن تُعلّم الخلايا الجذعية بما يجب عليها أن تفعله، ومتى يجب أن يتم ذلك. لقد استعمل <A. سبرادلينگ> و <T. كيه> [من معهد كارنيگي في واشنطن] هذا النوع من المعلومات كي يتحكما في الخلايا الجذعية لذبابة الفاكهة، التي تنتج في الحالة السوية البيوض في الأنثى. فعن طريق منابلتها إشارات صادرة عن العش، تمكّنا من جعل الخلايا تتمايز، ثم تعود عن تمايزها ثانية.

إن هذا النوع من النتائج يدعم التخمين بأن هذه الإشارات البيئية قد تكون حاسمة في تكوين جذوعية الخلايا الجذعية والحفاظ عليها. وكما يقول <D. زيپوري> [من معهد وايزمان للعلوم] في مقالة مراجعة[2] ظهرت مؤخرا، إنه قد يَثبُت في النهاية أن الخلية الجذعية لا تشكل كينونة لحالة ثابتة، بل لحالة خاصة، يمكن لأي خلية أن تصير فيها إذا ما تحققت لها الشروط الصحيحة. ■

<C. S>

تمايز

خلية عضلية

خلية جذعية

بانية العظام (خلية عظمية)

خلية شحمية (خلية دهنية)

إن إزالة التمايز لخلية جسدية سوية، كليف عضلي مثلا، تتسبب في فقدانها خصائصها التمايزية وفي ارتدادها إلى حالة خلية جذعية بدائية أكثر. وبدءا من هذه الحالة، يمكنها أن تعطي أنماطا خلوية جديدة، كالخلايا الدهنية أو العظمية. إن الوصول بهذه التقنية حد الكمال سيعني أنه بإمكان الخلية الجسدية النظامية أن تتحول إلى زاد غير محدود من الخلايا الجذعية، تعمل على تجدد النسيج.

(*) Making Stem Cells on Demand

(1) السلمندر newt: ضفدع مذنب يعيش في مياه المناطق الباردة وقربها، كجبال الألب مثلا.

(2) review article

(3) mainpulating

(4) blocking

خليط من القوانين(*)

يلاحظ الكاتبان <R. كاردنر> و <T. واتسن> كثيرا من الخلافات في العالم حول ما يجب أن يسمح به في موضوع الخلايا الجذعية، هذا على الرغم من المحاولات العديدة للتوصل إلى توافق عام.

إن استفادة العلماء من الإمكانات الكثيرة لما تعد به أبحاث الخلايا الجذعية والاستنساخ العلاجي تتوقف على مكان عملهم في العالم. فهناك تفاوت وخليط مربك من التشريعات، وقليل من الاتفاق بين الدول على ما يجب أن يسمح به وعلى ما يجب ألا يسمح به. ولقد باءت بالفشل محاولات التوصل إلى توافق عام في أوروبا وفي الأمم المتحدة، كما يبقى النقاش على المستوى الوطني في بعض الدول غير محسوم أيضا.

العلم معقد، ومثله البعد الأخلاقي، ولكن المشكلة تكمن في الخلافات الرئيسية في الرأي حول أي الأجزاء من العلم يمكن اعتباره مقبولا.

هناك ثلاثة مواضيع علمية رئيسية تشكل محور النقاش: الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، والاستنساخ التوالدي، والاستنساخ العلاجي. فبالنسبة إلى البعض، تعد الموضوعات الثلاثة مرفوضة بالقدر نفسه. وللبعض الآخر، فإن المواضيع على درجة كافية من الاختلاف بحيث يستحق كل منها دراسة مستقلة.

يشكل مصدر الخلايا الجذعية الجنينية البشرية نقطة خلاف رئيسية، ذلك أن هذه الخلايا تؤخذ من أجنة لا يتجاوز عمرها أياما قليلة. ويجري الحصول عليها بصورة أساسية من أجنة خلّفتها معالجات الخصوبة، ولكن هذا يقيد أنماط الأبحاث التي يمكن إجراؤها. وثمة بديل ممكن، يتمثل في إنتاج أجنة مستنسخة، ولكنه يتسبب في مآزق أخلاقية إضافية.

فمنذ استنساخ النعجة <دولي> عام 1997، أصبح على العالم التصارع مع التوقعات الجدية المتمثلة في أن استنساخ الإنسان قد يصبح بالفعل ممكنا. والنقطة الوحيدة التي يبدو حاليا أن الدول كافة تتفق عليها هي أن محاولة الاستنساخ البشري، أو ما يدعى أيضا بالاستنساخ التوالدي، غير آمنة علميا وفاسدة أخلاقيا ومرفوضة اجتماعيا.

ولكن هناك سيرورة قريبة الصلة، تعرف بالاستنساخ العلاجيّ، لا يتنامى فيها أبدا في المختبر الجنين المبكر إلى أبعد من كرة مجهرية من الخلايا. وفي خلال ذلك، تُجرى على هذه الكرة الأبحاث لاستخلاص الخلايا الجذعية غالبا، ولكن أيضا بغية فهم أفضل للتطور المبكر للأمراض ذات الأساس الوراثي.

وقد أعلنت بعض الدول حظرا شاملا على جميع أشكال الاستنساخ البشري، وحظر بعضها الآخر الاستنساخ التوالدي، ولكن سُمِح بالاستنساخ العلاجي. وأخفقت حتى الآن دول أخرى في وضع أي تنظيم، وكان ذلك غالبا نتيجة الإخفاق في التوصل إلى أي اتفاق. كما أن لعديدٍ من الدول أنظمتها الخاصة بها في اشتقاق الخلايا الجذعية الجنينية البشرية وفي استعمالها في الأبحاث.

ولتوضيح طيف التنظيمات المختلفة يمكننا النظر إلى الفروق الكبيرة بين الولايات المتحدة والمملكة المتحدة.

تعد المملكة المتحدة واحدًا من بلدان قليلة وضعت تشريعات تعبِّر صراحة عن السماح باستعمال الأجنة البشرية في أبحاث الخلايا الجذعية وفي الاستنساخ العلاجي. وكانت المملكة قد وضعت في عام 2001 تشريعات أولية ضد الاستنساخ التوالدي، بيد أن هذا الإجراء اتُّخذ بعد أن وسعت المملكة بنود قانون خصوبة الإنسان وعلم الجنين، الذي ينظم الأبحاث المسموح بها على الأجنة البشرية المبكرة.

لقد اتخذت هذه الإجراءات بعد نقاش عام، ثم أقرت بأغلبية أكثر من اثنين إلى واحد في

(*) A PATCHWORK OF LAWS



وزير العلوم والتقانة البرازيلي <E. كامپوس> (*في أقصى اليسار في الصف الخلفي*) يحتفل مع معوقين بإقرار قانون الخلايا الجذعية في 2005/3/2. وقد كُتب بالبرتغالية على صدور قمصان هؤلاء المعوقين قولهم «أمل» (اسبرانسا esperança)، أمل يتوقعه الناس في جميع أرجاء العالم من المعالجة التي قد تأتي من الخلايا الجذعية.

موقع المواجهة القادمة: قاعة المحكمة(*)

مع تعاظم الحجج حول من سيمتلك التقنيات المستقبلية التي تمخضت عنها أبحاث الخلايا الجذعية، يستعد محامو الشركات للمعركة.

من يمتلك الخلايا الجذعية؟ وأكثر تحديدا: من يجب أن يمتلك المعالجات الطبية المبدلة للحياة، التي قد تنبثق يوما ما عن هذا الحقل ـ حقل الأبحاث المستقبلية المثير للنزاع؟

قد يبدو من المبكر الاهتمام بموضوع حقوق ملكية تقنيات لا وجود لها بعد، وقد لا تصبح مجدية اقتصاديا أبدا. ولكن مع زيادة المال المتدفق على أبحاث الخلايا الجذعية ـ خاصة بعد نجاح مبادرة تصويت العام الماضي (2004) في كاليفورنيا، الذي يجيز للولاية تمويل أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية بثلاثة بلايين دولار ـ أصبح النزاع حول حق الملكية ليس بالبعيد، وذلك كما يقول خبراء قانونيون.

كانت أبحاث الخلايا الجذعية، لسنوات عديدة خلت، مركزا لمعارك سياسية

هناك قلة من الدعاوى القضائية حول الخلايا الجذعية في الولايات المتحدة، ولكن الهدنة قد لا تبقى قائمة.

وأخلاقية حادة. وتبقى الآن المحاكم موقع المواجهة القادمة: الصراع حول «من يمتلك ماذا» في مجالٍ مازالت الملكية الفكرية فيه أبعد ما تكون عن الوضوح.

«عادة»، كما يقول <B. وارن> [خبير براءات الاختراع للتقنيات الحيوية في مكتب المحاماة سثرلاند أسبيل وبرينان] في ولاية أطلنطا، «تبرز الدعاوى القضائية فقط عندما تكون هناك منتجات تجارية وسوق حقيقية للتقانة.» أما الآن، وبعد دخول كاليفورنيا وولايات أمريكية أخرى في لعبة تمويل أبحاث الخلايا الجذعية، فإن هذا الوضع سوف يسرع تطوير التقانة. كما يقول <وارن>، و«الدعاوى آتية حتما.» ويمكن أن يتم ذلك في السنوات الخمس القادمة.

ويشير الخبراء القانونيون إلى أنه لا يوجد في الولايات المتحدة حتى الآن إلا النزر القليل من الدعاوى القضائية حول الخلايا الجذعية، على الرغم من أن منظمة واحدة تدّعي حق ملكية الاختراع للخلايا الجذعية الجنينية كافة. وهذه المجموعة هي Wisconsin Alumni Research Foundation (WARF). وتدّعي هذه المجموعة أن براءات الاختراع الخاصة بها تغطي «طريقة زرع الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وكذلك أيا من الخلايا التي لها صفات الخلايا الجذعية.» وبكلمات أخرى، كل ما له تقريبا علاقة بأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية.

ويشكو المنتقدون في أوساط الأبحاث الأكاديمية والتجارية من أن هذه البراءة واسعة أكثر من اللازم. ولكن المجموعة WARF وكذلك المكتب الأمريكي للعلامات التجارية وبراءات الاختراع يدافعان عن البراءة على خلفية أنه إذا اعتقد الآخرون أن لهم حقوق المنافسة، فإن بإمكانهم الدفاع عنها في المحكمة.

وعلى الرغم من اتساع براءاتها، فإن المجموعة WARF لم تَعُق حتى الآن أيا من النشاطات البحثية التي تخص الغير، وذلك كما تقول <A. ريي> [خبيرة البراءات العلمية في كلية حقوق جامعة ديوك]، مشيرة إلى أن المجموعة WARF تقدم مجانا امتياز براءاتها للأغراض البحثية. وتقول <ريي> إن الهدنة الحالية قد لا تدوم طويلا، وستنتهي حالما يكون منافسو المجموعة WARF في هذا المجال جاهزين لتسويق التقانة الخاصة بهم. عندئذ، فإن اتساع براءات المجموعة WARF وشرعيتها سيتم تحديهما في المحكمة.

إن النقاد الذين يرون في براءات الخلايا الجذعية عائقا في طريق تطوير تقنيات منقذة للحياة هم على خطأ، وذلك كما يقول <M. ويرنر> [مدير السياسة العامة في BIO أو منظمة التقنيات الحيوية الصناعية]، الذي يلاحظ «بأن الملكية الفكرية عامل حاسم في تقدم العلوم، ولن تكون هناك استثمارات خاصة بدون حقوق البراءات.» ويتابع <ويرنر>: إن الشيء الوحيد الذي يقيد أبحاث الخلايا الجذعية هو تهديد حقوق الملكية الفكرية للذين يقومون بها من أجل الربح.

يضع <ويرنر> بذلك النقاش حول براءات الخلايا الجذعية ببراعة في مركز النقاش الاجتماعي الواسع ـ في الولايات المتحدة وفي دول أخرى ـ حول كيفية التوفيق بين حماية الملكية الفكرية الضرورية لإقناع الشركات بالاستثمار في الابتكار وبين الحاجة إلى إبقاء قطاع خاص متأهب وقادر أيضا على تعزيز التقدم.

إن كلا منا يعرف شخصا ما يمكن مساعدته يوما ما بمعالجة طبية تقوم على تقانة الخلايا الجذعية. ولكن الأسئلة المشروعة التي تحيط بهذه التقانة الواعدة تبقى كلها، كما هي الآن، بدون حل. كما أن موضوع من يملك نتائج أبحاث الخلايا الجذعية سيصبح أكثر تعقيدا كلما بدأ المزيد من الولايات الأمريكية برامجه الخاصة بتمويل تجارب الخلايا الجذعية، منشئة شبكة شديدة التعقيد من التمويل الخاص والعام، الذي لا يمكن فضه في النهاية إلا في المحاكم. ■

<P. والدماير>

مجلسي البرلمان. وأدت الجمعية الملكية، التي هي بمثابة الأكاديمية الوطنية للعلوم، دورا بالغا في إذكاء النقاش، الذي تمخض عن سيرورة غاية في التنظيم، نجم عنها حتى الآن منح امتيازين اثنين لإجراء الأبحاث على داء السكري وعلى **داء العصبونات المحرِّكة** motor neurone disease.

وبتباين صارخ، لا توجد في الولايات المتحدة ـ على الرغم من وجود جماعة ضغط دينية نافذة تدين جميع الأبحاث ذات الصلة بالأجنة ـ أي تشريع فدرالي أساسي ينظم أي شكل من أشكال الاستنساخ البشري. ويعكس هذا الوضع الشرخ الموجود بين الذين يؤمنون إيمانا قويا بضرورة حظر كافة أشكال الاستنساخ وبين أولئك الذين يأملون أن يتناول الحظر الاستنساخ التوالدي فقط؛ كما يعكس عدم المقدرة على التوصل إلى تشريع مناسب، على الرغم من الجهود العديدة والمستمرة.

وكانت آخر التطورات في هذا الشأن إعادة طرح قانون حظر الاستنساخ البشري لعام 2005 إلى الكونغرس، الذي قدمه في 2005/3/17 السناتور <S. براونباك> من كنساس، والذي اقترح حظرا فدراليا لا يفرق بين الاستنساخ التوالدي والاستنساخ العلاجي. وعلى الرغم من توفر الدعم القوي له، فقد أخفق مرتين منذ عام 2001 في جعله قانونا. وأعلن <براونباك> أيضا معارضته الشديدة لأي جهد في مجلس النواب لإعادة

(*) The Next Frontier: The Courtroom

الهندسة إلى جانب الأخلاق(*)

يسعى الباحثون لمعرفة كيف يمكن الحصول على الخلايا الجذعية الجنينية من دون إتلاف الأجنة.

ماذا لو استطاع العلم، بهزة أنبوب اختبار، أن يطوق الاعتراضات الأخلاقية على أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية؟ هناك عدة مقترحات تتيح للعلماء، من حيث المبدأ، الحصول على خلايا جذعية جنينية نفيسة دون تعريض الجنين للأذى، الذي يعد فيما يتعلق بالبعض مساويا في قيمته النفيسة للخلايا الجذعية. وبالنسبة إلى علماء التقانة الحيوية المتحمسين، تبدو هذه المقترحات جيدة بدرجة لا تصدق. وإنها كذلك في الواقع.

لقد جذب <W. B. هورلبات> [من جامعة ستانفورد وعضو المجلس الرئاسي للأخلاق الحيوية في الولايات المتحدة، ومعتنق عنيد لمفهوم «الاحترام الأخلاقي لكرامة الجنين»] الانتباه في اقتراحه إلى ضرورة تضافر الهندسة الوراثية والاستنساخ، في مسعى يسمى **النقل النووي المغاير** altered nuclear transfer: حيث تستخلص في أحد البرامج البحثية نواة خلية بالغة، وتحور لإيقاف عمل جينة أو أكثر أساسية في أثناء تنامي الجنين؛ تحقن النواة عندئذ في خلية بيضية جاهزة لتنشط كهربائيا، تماما كما في الاستنساخ. وإذا سارت الأمور كما يجب، فإن هذه الكينونة الحيوية التي يقول عنها <هورلبات> إنها «لن ترقى أبدا إلى المستوى الذي يمكن تسميته بدقة الكائن الحي» ستصبح في أحسن الحالات كتلة غير منتظمة من الخلايا الجذعية، ملائمة للأبحاث العلمية ولربما للعلاجات السريرية.

> إن إنتاج ما يرقى إلى مسوخ قربانية قد لا يرضي من يعتقد بأن أي عبث بالمادة البدئية للحياة هو أمر خطأ.

لا يشاطر جميع المختصين بالأخلاقيات الحيوية حماسة <هورلبات> لخطته تلك. فمن المحتمل أن تشبه الكتلة الخلوية الناتجة **ورما مسخيا** teratoma أي ورما بشعا هو عبارة عن خليط من خلايا مختلفة الأنماط: من خلايا الشعر إلى خلايا العضلة إلى خلايا الأسنان. وعلى الرغم من أنه لا يمكن تصنيفه جنينا في نظر العديدين، فإنه بالتأكيد يثير ما أسماه <L. كاس> [رئيس المجلس الرئاسي للأخلاق الحيوية في الولايات المتحدة] **العامل المنفر (المقزز)** yuck factor لأنه يشخص بعمق الممارسات اللاأخلاقية. ولقد تساءل النقاد أيضا فيما إذا كان إنشاء شيء هالك ومقيت عن قصد هو من الناحية الأخلاقية أفضل من إتلاف أجنة ليس لها مستقبل. وإذا ما ترك **النفور** yuckiness جانبا، فمن أجل إنجاح خط واحد من الخلايا الجذعية بهذه الطريقة نحتاج إلى مئات البيوض البشرية والتي تستثير بذاتها مشكلات فنية وأخلاقية.

لقد روج باحثان من جامعة كولومبيا فكرة، ربما تكون أكثر واقعية، تتمثل في جني خلايا جذعية جنينية حية من الأجنة العديدة التي أنتجت خارج الجسم الحي (**في الزجاج**) in vitro وماتت تلقائيا. فلقد شرع <D. W. لاندري> و<A. H. زاكر> بالعمل على اختبارات لتعرف **واسمات** markers كتلك التي توقف نهائيا انقسام الخلية والتي يساويها العلماء **بالموت الدماغي** brain death للأجنة.

ومن السخرية أن مشروع الباحثَيْن <لاندري و زاكر> سوف يتيح الحصول على ما يمكن اعتباره خلايا سليمة من أجنة ميتة، في حين يستمر إهمال الأجنة غير المستعملة الناتجة من الإخصاب بالمختبر (IVF)؛ كما أنه يجهض الحلم الذي يتمثل في إمكانية استنساخ خلايا جذعية جنينية يوما ما من جسم أحد المرضى لاستعمالها في المعالجة. وسوف تكون هذه الخلايا الجذعية الذاتية المنشأ في مأمن من الرفض المناعي، في حين أن تلك المتأتية من أجنة ميتة لن تكون كذلك. لذا فقد نحتاج عندئذ إلى مئات آلاف الخطوط الخلوية لإنمائها ومن ثم تخزينها، كي نقدم للمرضى جميعهم خلايا متوافقة مناعيا.

وتشتمل حلول مستقبلية على استخلاص خلايا جذعية فردية دون إيذاء الجنين، وعلى استعمال بيوض بشرية غير مخصبة، تُنَابَلُ لتدخل في سيرورة قصيرة الأمد، تشابه تشكل الجنين. وهناك طرق أخرى مباشرة، تتجنب كليا الاقتراب من الجنين. وعوضا عن ذلك تُجبَر الخلية الجذعية البالغة **للعودة عن تمايزها** dedifferentiate أو تعود إلى حالتها الجنينية **المتعددة الإمكان** pluripotent. بيد أن هذا المفهوم يقارب في هذه المرحلة **الخيمياء (الكيمياء القديمة)** alchemy أكثر من قربه إلى الكيمياء الحيوية. وقد لخص التقرير الصادر في الشهر 2005/4 عن الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة هذه المقاربات بأنها تبدو حاليا وكأنها مقيدة بعوائق تقنية عديدة.

لقد ظهرت دراسة نقدية نشرت في مجلة *نيو إنكلند جورنال أوف مدسين*، استهدفت خصيصا مقترح <هورلبات>، قد تقلل أكثر فأكثر من أهمية هذه الأفكار جميعها. ويجادل كل من <D. ملتون> و<G. دالي> و<C. جينينگز> [من جامعة هارفارد] بأن إيقاف فعل جينة واحدة لا يمكن أن يمثل «نقطة انتقالية يكتسب فيها الجنين البشري منزلة أخلاقية.» ولا توجد أي علامة مرجعية مشابهة، تطويرية أو كيميائية حيوية، يمكن أن تضفي يقينا أخلاقيا إلى هذا النمط من المقاربات. إن إنتاج مسوخ قربانية على مستوى صناعي قد لا يرضي أولئك الذين يؤمنون بأن أي عبث بالمادة البدئية للحياة هو أمر خطأ. ■

<G. ستكس>

النظر في الحظر القائم على التمويل الفدرالي لبعض الأبحاث الخاصة بالخلايا الجذعية الجنينية.

إن المزعج في الأمر عدم وجود تشريع فدرالي يمنع المختبرات الممولة من القطاع الخاص من محاولة إنشاء مستنسخ بشري. بيد أن نتيجة أي بحث من هذه الأبحاث سوف تخضع لاحقا لموافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية، التي على الغالب لن توافق عليها.

ويمكن للعلماء الحصول على تمويل فدرالي لاستعمال الخلايا الجذعية الجنينية البشرية في أبحاثهم، ولكن فقط الخطوط (السلالات) الخلوية التي طورت قبل عام 2001، ويتوفر من هذه الخطوط الخلوية اثنان وعشرون فقط. كما أن بعض الولايات الأمريكية وضعت تشريعات خاصة بها، تحرم في بعض الحالات أشكال الاستنساخ وأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية كافة، وتسمح في بعضها الآخر، وبخاصة ولاية كاليفورنيا، بالاستنساخ العلاجي، حتى إن هذه الولاية تعهدت بملايين الدولارات لتمويل هذه الأبحاث.

وغالبا ما تنظر الدول التي تسمح بأبحاث الاستنساخ العلاجي والخلايا الجذعية إلى تخلف الولايات المتحدة في هذا المضمار على أنه أنباء طيبة جدا. وتشهد على ذلك مستويات الاستثمار بهذه الأبحاث في المملكة المتحدة. وعلى المدى البعيد، فإن خسارة الخبرات والموارد في بلد يقود العالم علميا، يعني أيضا خسارة تقع على المرضى في العالم كله، ذلك أن التوصل إلى أسرع تقدم ممكن يتطلب جهدا عالميا.

أما في الدول الأخرى، فإن الآراء والتشريعات متنوعة بالقدر نفسه. فأوروبا منقسمة على نفسها في هذه المواضيع؛ إذ إن غالبية الدول الأوروبية، بما في ذلك ألمانيا

(*) Engineering Aside the Morality

هناك حاجة إلى جهود علمية عالمية لإنجاز أسرع تقدم ممكن، ولكن الآراء والتشريعات في العالم متباعدة تباعدا عميقا.

والنمسا وفرنسا وهولندا، وضعت تشريعات تحظر الاستنساخ التوالدي والعلاجي. ومع هذا، فإن تلك الدول لم تَمْضِ أبعد من ذلك كي تجاري بلدانا مثل إيطاليا وإيرلندا والنرويج والدانمرك التي حظرت أيضا الأبحاث التي تستعمل الخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وهذا ما يثير التساؤل الأخلاقي المهم فيما إذا كانت هذه الدول ستسمح لمرضاها بالخضوع لمعالجات سيتم تطويرها في المستقبل باستعمال تقانات يعتبرونها غير مقبولة.

وتسمح بلجيكا والسويد وإسبانيا بالاستنساخ العلاجي وباستعمال الخلايا الجذعية البشرية في الأطر ذاتها التي يعمل بها في المملكة المتحدة، وهناك حاليا ضغط شعبي في كل من ألمانيا وإيطاليا لتنقيح تشريعاتهما، في حين أن إيرلندا تقوم بذلك فعلا.

وتختلف الصورة كليا في آسيا، حيث تتبع كل من اليابان والصين وسنغافورا وكوريا الجنوبية نهج المملكة المتحدة. بينما تتبنى الهند أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وذلك كما تحقق مؤخرا في اللقاء الهندي - البريطاني الذي نظمته الجمعية الملكية، وهدف إلى إنشاء تعاون دولي في هذا المجال. ولكن حتى الآن لاتزال الهند تفرض حظرا على الاستنساخ التوالدي والعلاجي.

وكما هي الحال في أوروبا، فإن أمريكا الجنوبية منقسمة هي الأخرى على نفسها: فالاكوادور تحرم أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية ونمطي الاستنساخ كليهما. أما البرازيل فتمنع الاستنساخ، ولكن قانونا صدر مؤخرا يسمح بأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية وبتمويلها. وتحرم كل من الأرجنتين والتشيلي والپيرو والأوروغواي نمطي الاستنساخ، والتشريعات إما أن تسمح بالخلايا الجذعية الجنينية أو لا تغطيها. وكولومبيا فقط تسمح بالاستنساخ العلاجي، وكذلك أبحاث الخلايا الجذعية البشرية.

إسرائيل وتركيا وحدهما في الشرق الأوسط لديهما تشريع ذو صلة بهذا المجال. إسرائيل تسمح بأبحاث الاستنساخ العلاجي والخلايا الجذعية الجنينية، في حين تحرم الاستنساخ التوالدي. وتحذو تركيا عمليا حذو إسرائيل، فعلى الرغم من أن أبحاث الخلايا الجذعية غير مسموح بها صراحة، فقد أغفل القانون ذكرها.

أما في القارة الأفريقية، فجنوب أفريقيا (نعم: لأبحاث الخلايا الجذعية، كلا: لنمطي الاستنساخ)؛ وتونس (الأبحاث الجنينية غير محرمة بالتحديد، وكلا نمطي الاستنساخ محظور) هما الدولتان الوحيدتان اللتان وضعتا قوانين بهذا الشأن.

أما عن الدول التي ليست لها تشريعات وطنية، فيمكننا أخذ فكرة عن مواقفها من خلال محاولاتها العاثرة، للتوصل إلى إجماع مشابه لما هو عليه على المستوى الأوروبي والدولي.

لقد أدخل المجلس الأوروبي المعاهدة الغامضة حول حقوق الإنسان والطب الحيوي، ولكن ليس من الواضح إن كانت هذه المعاهدة تحظر الاستنساخ العلاجي. ولقد وقَّعت على هذه المعاهدة إحدى وثلاثون دولة من الخمس والأربعين دولة الأعضاء، ومن بين تلك الدول أقرت هذه المعاهدة خمس عشرة دولة. وفي استجابة للنقاش الذي جرى في المملكة المتحدة، والذي سبق اعتمادها التشريعات حول الاستنساخ، وللتأثير في نتيجة النقاش، فقد وضع المجلس الأوروبي پروتوكولا إضافيا يحظر الاستنساخ البشري. ولم يكن من المفاجئ أن المملكة لم توقع على أي منهما؛ أي لا على المعاهدة ولا على الپروتوكول. وبما أن المعاهدة والملحق لايفرضان أي عقوبة على انتهاك هذه التشريعات، فمن المرجح الا يكون لذلك أي تأثير مهم. فالبرتغال وقَّعت المعاهدة وأقرتها رغم غياب أي تشريع وطني، مما يعطي مؤشرا محتملا إلى وجهة نظرها.

ونشاهد في الأمم المتحدة صورة مشوشة مشابهة: ففي عام 2001 شكلت لجنة للنظر في «تطوير معاهدة دولية ضد الاستنساخ التوالدي للإنسان.» لقد تبين بعد أربع سنوات من توقف النقاش والتفاوض، ثم متابعتهما، أن الدول الأعضاء غير قادرة حتى على الاقتراب من أي إجماع يُدخِل في الحظر الاستنساخَ العلاجي أو يستثنيه.

وكانت منظمة الدول الإسلامية Organization of Islamic Countries (OIC) في نهاية النقاش إحدى المجموعات الأكثر تأثيرا. ويُشك في أن جزءا من السبب وراء كون بعض الدول ـ التي سعت إلى حظر نمطي الاستنساخ، كالولايات المتحدة وكوستاريكا ـ لم يضغط بما يكفي للتوصل إلى اتفاق ما، تمثل في أن نقاش اللحظة الأخيرة كان يشير إلى أن دول المنظمة OIC كانت ستؤيد اقتراحا بديلا. وجاء الاقتراح النهائي كمبادرة من بلجيكا ودعمته المملكة المتحدة، ليترك لكل دولة اتخاذ القرار الذي تراه مناسبا حول الاستنساخ العلاجي.

وعوضا عن إجماع واضح، كانت النتيجة إعلانا سياسيا مبهما ركيك الصياغة، ويبدو أنه يحظر أشكال الاستنساخ كافة. ونظرا لكون هذا الإعلان غير ملزم، فلن يكون له قطعا أي تأثير في الدول التي تنوي دفع الاستنساخ العلاجي إلى الأمام.

ومما يؤسف له، أن هذه النتيجة تعني أيضا أنه لا توجد رسالة واضحة إلى العلماء الخارجين عن الإجماع المتمثل بأن العالم بأسره يعتقد أن الاستنساخ التوالدي غير مقبول. ■



المندوب السامي البريطاني في الهند، سير «M. ارثر» (في اليمين) يتحدث مع «K. فيجايرا كاقان» [مدير المركز الوطني الهندي للعلوم البيولوجية] في خلال ورشة عمل في الشهر 2005/4، حول الخلايا الجذعية. وتنوي المملكة المتحدة نقل بعض أبحاثها عن الخلايا الجذعية إلى الهند.

المؤلفان

Richard Gardner - Tim Watson

كاردنر رئيس مجموعة عمل في الجمعية الملكية Royal Society تعمل على أبحاث الخلايا الجذعية والاستنساخ. ويعمل واتسن صحفيا لدى الجمعية الملكية.

عدد كبير من مقاربات الخلايا الجذعية(*)

قوبلت أبحاث الخلايا الجذعية في العالم بردود أفعال مختلفة، تراوحت من الحماس، كما في المملكة المتحدة، إلى الشك والنفور. وعلى الرغم من تزايد القوانين الدولية المتسامحة، فلا يظهر إجماع حول دعم هذه الأبحاث حتى لدى الدول التي تم انتقاؤها في هذا العرض، والتي تعتبر تقدمية فيما يتعلق بموضوع الخلايا الجذعية. فمثلا، تقدم حكومة الولايات المتحدة مبالغ ضخمة (550 مليون دولار) لأبحاث الخلايا الجذعية؛ بيد أن المبلغ المخصص لدراسات الخلايا الجذعية الجنينية البشرية لا يتجاوز 24 مليون دولار، وهذا أعلى بقليل مما تنفقه دول أخرى ذات ميزانية أقل بكثير من الولايات الأمريكية.

وتختلف الدول أيضا في اختيارها لمدى الرقابة التنظيمية التي تمارسها. فللبعض قوانين تسمح أو تحظر نوعيا بعض الممارسات المترافقة مع أعمال الخلايا الجذعية الجنينية البشرية كالاستنساخ العلاجي، والبعض الآخر يترك مراقبة هذه التجارب للأعراف الشرعية. وقد أبدى الناقدون قلقهم حول عدم اتساق النظم الناتجة: فقد لاحظ أحد الباحثين أن تمويل الاتحاد الأوروبي للأبحاث أوجد وضعا غريبا في ألمانيا، حيث يستطيع العلماء التقدم بمشاريع تعتبر رسميا غير قانونية. (تمثل أرقام التمويل القيم التقديرية، بالدولار الأمريكي، للإنفاق السنوي الحالي على جميع أبحاث الخلايا الجذعية البشرية، ما لم يذكر غير ذلك) <S. بيردسلي>



السويد

عدد خطوط (سلالات) الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 8

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستنساخ العلاجي: مسموح به اعتبارا من الشهر 2005/4

عدد الباحثين: 400

التمويل الحكومي: 10-15 مليون دولار.

التمويل الخاص: تسهم أكبر شركتي أبحاث في الخلايا الجذعية بالسويد هما الشركة سيلارتيس والشركة نيورونوفا Cellartis and NeuroNova، بمبلغ 35 مليون دولار يصرف سنويا.

تحتفظ الشركة سيلارتيس، المصدر الوحيد والأكبر في العالم لخطوط محددة تماما من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، بأكثر من 30 خطا، منها اثنان مصادق عليهما من قبل المعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة.

المملكة المتحدة

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 3

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستنساخ العلاجي: مسموح به

التمويل الحكومي: نحو 80 مليون دولار

التمويل الخاص: 15-20 مليون دولار.

أنفقت وِلْكم ترست Wellcome Trust وحدها، ومنذ عام 2002، مبلغ 12 مليون دولار سنويا.

مُنح أول امتياز لأبحاث الخلايا الجذعية البشرية عام 1996.

يجيز قانون الإخصاب البشري وعلوم الأجنة لعام 1990 للمملكة، تمويل أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية بشكل مرن.

مُنح أول امتياز لأبحاث استنساخ الإنسان في المملكة عام 2004. وقد أعلن الحاصلون على الامتياز في الشهر 2005/5 عن أول جنين بشري مستنسخ في المملكة.

أستراليا

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 1

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به بشروط

الاستنساخ العلاجي: محرم

عدد الباحثين: 200-250

التمويل الحكومي: 90 مليون دولار بتصرف مركز الخلايا الجذعية الأسترالي للإنفاق حتى عام 2011

(*) WORLD OF APPROACHES TO STEM CELLS

الاتحاد الأوروبي

إنتاج خطوط خلوية جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية: يسمح به فقط من أجنة الإخصاب في المختبر غير المستعملة: في البلاد التي يسمح فيها بإنتاج تلك الأجنة

الاستنساخ العلاجي: محرم

التمويل: 170 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية على مدى السنوات الثلاث الماضية، و 650 000 دولار فقط لأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية

الوضع في بعض الدول الأعضاء:
فرنسا: إنتاج خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية مسموح به من أجنة الإخصاب في المختبر اعتبارا من الشهر 2004/10: التمويل الحكومي 4 ملايين دولار
ألمانيا: يسمح فقط بالعمل على خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية التي تم الحصول عليها قبل عام 2002: التمويل الحكومي 4 ملايين دولار
فنلندا: تسمح بالأبحاث على أجنة الإخصاب في المختبر: التمويل الحكومي 5 ملايين دولار
إيطاليا: أوصى استفتاء 2005/6/12 بالسماح بالأبحاث على أجنة الإخصاب في المختبر: التمويل الحكومي 6 ملايين دولار.

لن يزيد الاتحاد الأوروبي تمويله لمشاريع الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، رغم مضاعفة الميزانية الكلية للأبحاث.

سنغافورا

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 1

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به إذا ما أتلفت الأجنة خلال أربعة عشر يوما

الاستنساخ العلاجي: مسموح به كما هو وارد أعلاه

عدد الباحثين: قرابة 150 في المؤسسات الصناعية والأكاديمية

الإنفاق الأكاديمي: قرابة 10 ملايين دولار من مصادر حكومية وخاصة

الإنفاق الصناعي: قرابة 10 ملايين دولار.

هناك اقتراح حكومي متوقع يسمح بإنفاق 60 مليون دولار خلال السنوات الأربع القادمة.

الولايات المتحدة

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 46

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به، ولكن تمويله فدراليا محظور

الاستنساخ العلاجي: شرعية هذا الاستنساخ تختلف من ولاية لأخرى

عدد الباحثين: 400

التمويل الفدرالي الحكومي: قرابة 550 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية كافة (24 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية)

التمويل الخاص: قرابة 200 مليون دولار

التمويل الحكومي على مستوى الولاية:
كاليفورنيا: 3 بلايين دولار خلال عشر سنوات
نيو جيرسي: 11.5 مليون دولار (إضافة إلى 380 مليون دولار مقترحة)
ويسكونسن: 375 مليون دولار مقترحة
إلينوي: بليون دولار مقترح
كونكتيكت: 20 مليون دولار مقترحة.

تسمح الحكومة الفدرالية باستعمال تمويلها فقط على الخطوط الاثنين والعشرين من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية التي أنتجت قبل الشهر 2001/8. سوف تخفف التشريعات المقترحة بعض القيود الفدرالية.

كوريا الجنوبية

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 29

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به بعد موافقة مسبقة من وزارة الصحة لكل حالة

الاستنساخ العلاجي: مسموح به بعد موافقة مسبقة من وزارة الصحة لكل حالة

عدد الباحثين: 300-400

التمويل الحكومي: نحو 10 ملايين دولار

التمويل الخاص: نحو 50 مليون دولار.

أول من أنتجت خطا من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية من جنين مستنسخ. وفي الشهر 2005/5 أعلن عالم كوري جنوبي[1] أنه أنتج أحد عشر خطا جديدا من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، مستنسخة من مرضى لديهم أذيات في النخاع الشوكي ومن مصابين بداء السكري الشبابي ومن مصابين باختلال في الدم.

البرازيل

إنتاج خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية: مسموح به اعتبارا من الشهر 2005/3 من أجنة الإخصاب في المختبر التي لا يتجاوز مدة حفظها ثلاث سنوات

الاستنساخ العلاجي: محظور

التمويل الحكومي: 4.5 مليون دولار سنويا معتمدة من قبل وزارة الصحة ووزارة العلوم والتقانة.

إسرائيل

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 1

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستنساخ العلاجي: مسموح به

الإنفاق الحكومي: قرابة 5 ملايين دولار

الإنفاق الخاص: 15-30 مليون دولار.

قاد الباحثون الإسرائيليون إحدى الفرق البحثية التي كانت الأولى في عزل الخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وقد كانوا أيضا أول من أوضح أن الخلايا الجذعية الجنينية البشرية يمكن أن تتغير إلى خلايا قلب، ويمكنها أيضا أن تندمج مع النسج.

الصين

إنتاج خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية: مسموح به

الاستنساخ العلاجي: مسموح به

عدد الباحثين: 300 - 400

التمويل الحكومي والخاص: قرابة 40 مليون دولار.

أفادت مجلة نيتشر بأن الصين تمثل، على ما يبدو، أكثر الأجواء تحررا في العالم فيما يخص أبحاث الأجنة، مع القليل من المعارضة العامة لهذه الأبحاث. ولا يوجد أي قانون يتحكم في أبحاث الخلايا الجذعية، غير أن توصيات وزارة الصحة تصادق عليها.

(1) في الشهر 2005/12، تعرض هذا العالم لانتقادات شديدة حول ادعائه بأنه يمتلك دليلا علىّ أن فريقه استطاع تكوين خلايا جذعية مصممة لعلاج بعض الأمراض. وذكرت جامعة سيول الوطنية أنها ستكثف التحقيق في ملف هذا العالم بعد الادعاءات بأن بعض الفقرات الرئيسية في أبحاثه ملفقة. (التحرير)

الخلايا الجذعية:

الصين: التقرير الوطني

إن القوانين الإيجابية المتساهلة والتوظيف الواسع في هيئات البحث المتساهلة يدعمان الجهد الآسيوي الأعظم في الخلايا الجذعية.

للصين أكبر جهد آسيوي في أبحاث الخلايا الجذعية، مع تركيز خاص على دفع الابتكار في المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية البالغة باتجاه التجارب السريرية. وعلى الرغم من عدم وجود إحصائيات جامعة حول الخليط ذي التسارع المتنامي، الذي تملكه الصين في مبادرات الخلايا الجذعية، فإن الصين لديها ما لا يقل عن 300 باحث في 30 معهدا مختلفا.

في أواخر عام 2004 زار وفد من وزارة التجارة والصناعة في المملكة المتحدة، أرسل للاطلاع على أبحاث الخلايا الجذعية في آسيا، دزينة من المختبرات الصينية، واستنتج أن «كل موقع من المواقع التي شوهدت مجهز تجهيزا جيدا، ولديه التمويل الكافي والأطر البحثية اللازمة، التي ترقى إلى مستوى مثيلاتها في المملكة المتحدة، وغالبا ما كانت أفضل.» تضم مختبرات الخلايا الجذعية الصينية فيضا من الباحثين الشباب المتحمسين، عاد كثير منهم إلى البلاد بعد أن قضوا في أوروبا وأمريكا الشمالية فترة تدريب بعد التخرج. كما أن كبار الباحثين، الذين عملوا في الخارج أيضا، يتمتعون بقدرات قيادية جيدة. ولكن على ما يبدو ثمة فجوة مؤقتة في المستوى المتوسط بين الباحثين الكبار والشباب؛ أي في أطر الباحثين العاملين من حملة الدكتوراه الذين يشكلون قاعدة البحث العلمي في الغرب. ويوجد في الصين قليل من الشركات الناشئة العاملة في مجال الخلايا الجذعية، ومازال الاتجار بها في طوره المبكر.

يستفيد باحثو الخلايا الجذعية في الصين، كما هي حال نظرائهم في الدول الآسيوية الأخرى، من بيئة أخلاقية وتشريعية، هي بشكل عام أكثر ملاءمة للباحثين مما يتوافر حتى في أكثر الدول الغربية تسامحا. «ويوازي الوضع الذي يمنح للجنين في الصين مثيله في المملكة المتحدة، غير أن القوانين تعالج هنا بلمسات أخف،» كما تقول <G. ريتشاردسن> [أستاذة القانون العام في كلية كوين ماري بجامعة لندن]. وتتابع قائلة: «تستعمل غالبية مجموعات أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية في الصين أجنة طازجة.»

إن الصين ممثَّلة جيدا بأعمالها المتعلقة بالخلايا الجذعية الجنينية، إذ رسَّخت على الأقل عشرة خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية، وتعمل على الاستنساخ العلاجي.

«وللصين مصدر **للخلايا البيضية** oocytes أفضل مما يوجد في الغرب؛ إضافة إلى مهارات رائعة في النقل النووي،» كما يقول <P. ماونتفورد> [الرئيس التنفيذي للشركة **ستم سل سايِنسز** Stem Cell Sciences في أدنبره]. ويضيف: «هناك الأيدي العديدة الشديدة البراعة في منابلة تلك النقط الصغيرة (البيوض البشرية).»

ولكن العمل بالخلايا الجذعية البالغة يسود المشهد الصيني. «هناك تركيز كبير جدا على نقل النتائج إلى المستوى السريري، وهو عمل أكثر قبولا في الصين منه في الولايات المتحدة وأوروبا،» كما يقول <S. مِينْجر> من كلية الملك بجامعة لندن. «ولسوف تسبق المعالجة بالخلايا الجذعية في الصين نظيرتها في الغرب.»

ويتجسد المثل الأكثر بريقا في <J. تسو> [من مستشفى هواشان الذي هو جزء من جامعة فودان في شانغهاي]. يعمل <تسو> على خلايا جذعية عصبية بالغة، تستخلص من نسج دماغية معزولة من مرضى يعانون جروحا مفتوحة في الرأس (حالة محلية شائعة مصدرها جروح **عيدان الطعام** chopsticks حيث يغرز عادة عود القصب المدبب في محجر العين إلى داخل الرأس - غالبا خلال نقاش حاد في أثناء الطعام - وعندما يسحب العود، تبقى كمية كافية من نسج الدماغ عالقة به، تكفي لتكون مصدرا لخلايا جذعية عصبية). لقد حصل <تسو> على نتائج مشجعة من تجربة سريرية اغترست فيها لثمانية مرضى من هذا النمط خلاياهم الجذعية العصبية بعد تنميتها ثم اغتراسها في موقع الأذية. ولقد أصاب هؤلاء نجاحا مرموقا، يفوق ما حققه ثمانية آخرون عملوا كمجموعة شاهدة (ضابطة)، أجريت لهم عملية الدماغ المفتوح، إنما دون التطعيم بالخلايا الجذعية. ■

<C. كوكسون>



<J. ويلز> *(في الوسط)* من البوكيركي من نيو مكسيكو، تراقب إحدى فنيات المختبر في تيانجين بالصين، وهي تفحص عينة من الخلايا الجذعية. ذهبت <ويلز> إلى الصين بعد اكتشاف الأطباء عينات من الخلايا الجذعية من طفل صيني قد تتوافق نسيجيا مع جسم ابنتها <كيلي> التي تعاني فقر الدم اللاتنسجي aplastic anemia.

... شرقا ... وغربا[*]

المملكة المتحدة: التقرير الوطني

مواقف شعبية إيجابية تسمو بالعلميين البريطانيين فوق شجار هدام.

عندما بدأ السباق الدولي حول أبحاث الخلايا الجذعية في نهاية عام 1990، وضع عاملان اثنان من المملكة المتحدة في موضع قوي: الأول القوة التاريخية لعلم الأجنة وللعلوم ذات الصلة في المملكة، والآخر الإطار التنظيمي الراسخ.

إن أي باحث يعمل على الأجنة البشرية البكرة مدين علميا لـ<P. ستپتو> و<R. إدواردز>، الثنائي البريطاني الذي طور تقنيات الإخصاب في المختبر (IVF)، التي أدت إلى ولادة أول طفلة أنابيب في العالم هي <لويز براون> عام 1978. وقد أثارت هذه التقنية نقاشا حادا حول مدى أخلاقية استعمال أجنة «**احتياطية** spare» في الأبحاث، وهو نقاش بلغ الذروة في عام 1984 مع صدور التقرير الرسمي لـ<M. وارنوك> الذي شكل نقطة تحول وأوصى بالسماح بإجراء أبحاث يجري التحكم فيها على الأجنة البشرية حتى اليوم الرابع عشر بعد الإخصاب، وهو حد بقي معيارا عاليا واقعيا.

لقد جُسِّدت استنتاجات <وارنوك> بعد ست سنوات في إطار قانون ينظم مجال هذه الأبحاث، عند إنشاء هيئة الإخصاب وعلم الأجنة البشري. وهكذا، عندما برز مجال الخلايا الجذعية الجنينية والاستنساخ، كان الوضع جاهزا في المملكة المتحدة لتعدل تشريعها القانوني بغية السماح للأبحاث على الخلايا المشتقة من الجنين البشري لأغراض المعالجة (بما في ذلك الأجنة المستنسخة)، ولتحرم في الوقت ذاته الاستنساخ التوالدي. وهناك مشروعان قيد التنفيذ، قائمان على أبحاث الاستنساخ العلاجي في كل من جامعة نيوكاسل ومعهد روزلين.

وفي بريطانيا، وعلى الرغم من وجود مجموعة ضغط واضحة ضد الإجهاض ومُعارِضَة لأبحاث الأجنة، فإن هذه المجموعة لا تمثل إلا أقلية. إن الخلايا الجذعية والاستنساخ في المملكة المتحدة، خلافا لما يحدث في بلدان أخرى، ليسا من المواضيع التي تختلف فيها الأحزاب. وقد أشاد باحثو الخلايا الجذعية الذين أتوا إلى بريطانيا من دول أخرى بأهمية الموقف العام والموقف السياسي الداعم لأعمالهم. وهؤلاء هم: من الولايات المتحدة <R. بيدرسن> إلى جامعة كامبردج و <S. مينجر> إلى كلية الملك بلندن؛ ومن ألمانيا <M. شتويكوفتش> إلى جامعة نيوكاسل.

إن الموقف الإيجابي لحكومة المملكة المتحدة (مدعوما بالحماس الأكبر من الموقف الاسكتلندي) التي شرعت بنجاح في أن تصبح بيئة إقليمية مواتية لعلوم الخلايا الجذعية ـ قد منح بريطانيا بنية تحتية جيدة في هذا المجال. فبريطانيا تملك أول بنك للخلايا الجذعية في العالم، يقود المبادرات الدولية في توصيف خطوط الخلايا الجذعية الجنينية كافة والموجودة حاليا في العالم، وفي تعرف السمات البارزة فيها، وفي تقويم درجات التنوع التي قد تبديها الخطوط المختلفة.



يعمل باحثا في مختبر بيولوجيا الخلايا الجذعية في كلية الملك بجامعة لندن على خلايا جذعية جنينية بشرية.

ولكن يبقى هناك وجه غير مشرق في المملكة المتحدة، يتمثل بتمويل القطاع العام لأبحاث الخلايا الجذعية إذا ما نُظِر إليه بالمعايير الدولية. ففي عام 2002، أعلنت الحكومة عن توظيف 40 مليون جنيه إسترليني (أي 70 مليون دولار) في علوم الخلايا الجذعية التي تُجرى في مراكز أبحاث الدولة. ومع أن هذا المبلغ قد دُعم بتمويل إضافي آخر، فإن التزام بريطانيا المالي تجاه تمويل أبحاث الخلايا الجذعية يقل عن تمويل بعض منافسيها في منطقة المحيط الهادئ الآسيوية، وأيضا في بعض الولايات الأمريكية.

ومع أن بريطانيا هي موطن لبعض الشركات الصغيرة العاملة في مجال الخلايا الجذعية، مثل ري نورون ReNeuron وستم سل ساينسز Stem Cell Sciences، فإن قليلا من الاستثمار يأتي من القطاع الخاص التقليدي، مثل الرأسماليين أصحاب المشاريع ومديري التمويل، الذين يرون أن الاستثمار في هذا المجال بعيد الأجل ومحفوفا بالمخاطر (انظر: «*خلية عصية على المستثمرين*»، *في هذا التقرير الخاص*). وفي محاولة لردم فجوة التمويل هذه، قامت مجموعة معتبرة من العلماء ورجال الأعمال بتأسيس جمعية الخلايا الجذعية في المملكة المتحدة، وهي منظمة لاربحية، تحاول جمع 100 مليون جنيه لدعم تطوير الخلايا الجذعية بقصد المعالجة، وذلك بالتعاون مع البرامج الحكومية والخيرية الحالية. ■

<C. كوكسون>

(*) STEM CELLS: EAST... AND WEST

مناورة كاليفورنيا(*)

صفق البيولوجيون للولاية الذهبية (ولاية كاليفورنيا) لمغامرتها بتقديم ثلاثة بلايين دولار، خصصتها لعلم الخلايا الجذعية، إلا أن <W. W. كيبس> صرح بأن هذه المغامرة قد تفوق تقديراتهم.

في الشهر 2004/11 الماضي، انتخب سكان كاليفورنيا بطلا فعالا لإصلاح ميزانيتهم المفلسة، وفي الوقت نفسه وافقوا على استدانة بلايين الدولارات بغية القيام بأبحاث تتناول المداواة المعتمدة على الخلايا الجذعية الجنينية. لقد راهن دافعو الضرائب على المغامرة في هذا المضمار على الرغم مما تنطوي عليه من مخاطر جسام؛ إذ من الواضح أن هذا الموقف لا يعبر عن حالة نفور من تحمل المخاطر، ولكن أهالي كاليفورنيا، باندفاعهم للقيام بمبادرة أحجم عنها الكونغرس، قد قاموا بتجربة سياسية لها عواقب على المستوى الوطني. ومع أن الكثير من البيولوجيين الباحثين في مجال الخلايا الجذعية أظهروا اغتباطهم، فإن البعض أبدى قلقه من أن هذا التبديل المزلزل في السياسة، قد يصدّع هذا المجال ويؤخر التقدم العلمي ويبعث آمالا غير واقعية لدى الجمهور؛ ذلك أن حجم هذه المخاطر لم يتضح بعد.

لقد تأكد لدى أكثر علماء هذا المجال على الأقل أن النظام السابق لم يكتب له النجاح. فوفقا للقواعد التي وضعها الرئيس <بوش> لا يمكن للباحثين استخدام أي تمويل من المعاهد الوطنية للصحة أو غيرها من الوكالات الفدرالية لإجراء تجارب على أي من خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، التي يبلغ عددها نحو 200، والمشتقة منذ الشهر 2001/8 عندما وُضعت القواعد موضع التنفيذ. وللأسف، فإن جميع خطوط الخلايا الجذعية الجنينية الاثنين والعشرين التي تم إنشاؤها قبل ذلك التاريخ، كانت ملوثة بجزيئات غير بشرية قد تؤدي إلى حصول هجمة مناعية تحد كثيرا من استعمالها في الطب.

«لاشك أن موقف المعاهد الوطنية للصحة، إضافة إلى المناخ السياسي، أحدثا تثبيطا حقيقيا في هذا الميدان،» كما صرح <A. كريگشتاين> [من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو]. وللالتفاف على القيود الفدرالية، أنشأت هذه الجامعة برنامجا لأبحاث الخلايا الجذعية عام 2002 بخمسة ملايين دولار، جاءت هبة من الرئيس السابق لشركة إنتل Intel <A. گروف>، وعُهد إلى <كريگشتاين> بإدارة هذا البرنامج. كما أنشأت جامعة ستانفورد برنامجا مشابها بمبلغ 12 مليون دولار تبرع بها شخص لم يُعلن اسمه. وفي عام 2004 انضمت إلى هذه المعركة جامعة هارڤارد بمعهدها الخاص بالخلايا الجذعية.

وعلى الرغم من هذه الجهود، يقول <كريگشتاين>: «من الصعوبة بمكان أن يتورط المرء بالعمل في مجال قد تُعتبر الأبحاث التي يريد القيام بها جريمة في المستقبل. (وفي الواقع، أصبحت بعض الولايات مثل أريزونا وپنسلڤانيا تعتبر اشتقاق خط جديد من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية بمثابة جريمة.)

وتقول <M. كارپنتر> [التي تدير برنامجا بيولوجيا للخلايا الجذعية بسان دييگو]: «فيما يتعلق بباحث شاب يبدأ العمل في مختبر جديد يركز على الخلايا الجذعية الجنينية، لاشك في أن عمله محفوف بمخاطر هائلة. وإذا ما قررت المعاهد الوطنية للصحة تسريحك، فإلى أين تذهب؟ يا للعار. إنني أعرف عددا من العلماء الجيدين الذين يتحاشون هذا الحقل جملة وتفصيلا، نظرا لما يزخر به من مضامين أخلاقية.»

ونتيجة لتجميد الموضوع من قبل الحكومة

2002 — **2004**

2002/8
بدأت جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو برنامج بحث بيولوجيا الخلايا الجذعية، ورصدت له خمسة ملايين دولار.



2002/12
أنشأت جامعة ستانفورد مركزا لأبحاث الخلايا بنحو 12 مليون دولار تبرع بها شخص لم يعلن عن اسمه.

2004/3
أنشأ <D. ميلتون> [من جامعة هارڤارد] 17 خطا جديدا من الخلايا الجذعية الجنينية بهبات خاصة.

2004/4
افتتحت هارڤارد معهدها الخاص بالخلايا الجذعية.

2004/6
أدخل قانون تعزيز الخلايا الجذعية إلى الكونغرس ولكن لم يعرض قط على التصويت.

2004/11
أُجيز الاقتراح 71 في كاليفورنيا، وقُبل تأسيس معهد الطب التجديدي خلال عشر سنوات بتكلفة ثلاثة بلايين دولار.

يقترح حاكم ويسكونسن <J. دويل> تخصي[ص] مبلغ 375 مليون دولار خلال عشر سنوات لإنشاء معهد جديد لأبحاث بيولوجيا الخلا[يا] الجذعية وغيرها من الأبحاث الطبية. كما ي[...] <دويل> منح كليات الطب في ولاية كاليفور[نيا] مبلغ 75 مليون دولار على مدى خمس سن[وات] تصرف على الأبحاث الطبية بما في ذلك الخلايا الجذعية.

(*) THE CALIFORNIA GAMBIT

الفدرالية يقول <M. راو> [من المعهد الوطني للشيخوخة] «لقد تخلت الولايات المتحدة عن الزعامة في هذا المجال الجديد إلى دول أخرى. وعندما نتكلم عن **واسمات** markers جديدة وأضداد لتحديد هوية خلايا جذعية، فإننا نشير إلى أعمال تمت في إنكلترا. وعندما نتكلم عن التقدم في المعالجة الأحيائية[1] ونُقُوِّم الإنتاج، فإننا ننظر إلى إسرائيل أو سنغافورا. وأنا الآن أحيد عما أقوم به لحضور مؤتمرات علمية في الصين بغية الاستماع إلى أعمال لم تنشر بعد.» ويقول <راو> إن كثيرا من البيولوجيين أصيبوا بخيبة أمل «لأن بوسع الولايات المتحدة بسهولة تزعم قيادة هذا النوع من العلم. فقد اكتُشفت هذه الخلايا هنا، ولدينا أفضل البنى التحتيةَ لتحليلها، ولكننا لم نتمكن من وضع تصور لسياسة جماعية لها.»

هذه ـ بالضبط ـ هي المشكلة التي تسعى كاليفورنيا إلى حلها. إن رد فعل هذه الولاية على القيود التي وضعها الرئيس <بوش> هو إنشاء معهدها الجديد للطب التجديدي[2] Institute for Regenerative Medicine (CIRM) الذي أقامه 59% من الناخبين الذين وافقوا على الاقتراح رقم 71 في نهاية الشهر 2004/11 إبّان اقتراع الولاية، حيث اتُّفق على أن يدار المعهد من قبل هيئة صغيرة من نحو 40 عالما [تم التعاقد مع ثلاثة منهم فقط بنهاية الشهر 2005/4]، إضافة إلى بعض الإداريين، ولجنة إشراف قوامها 29 أكاديميا ورجل أعمال وناشطون طبيون. إن غاية المعهد إنفاق 300 مليون دولار في السنة على أبحاث الخلايا الجذعية لمدة عقد من الزمن، وهو نمو مفاجئ بالنسبة إلى مجال بازغ ومثير للجدل.

لقد أطلق هذا التحرك أجراسَ الإنذار في مكاتب عمداء الكليات ومشرعي الولايات في أنحاء البلاد. فقد قام حاكما وسكونسين ونيوجيرسي بحملات سريعة لدعم أبحاث الخلايا الجذعية وتمويلها في جامعاتهما. كما تقدم المشرعون بمشاريع قوانين تسمح بإجراء اختبارات على الخلايا الجذعية الجنينية في الولايات التي تمتلك التقانات البيولوجية العالية مثل ميريلاند وماساتشوستس (*انظر الجدول الزمني في الأسفل*).

عندما تمت الموافقة على الاقتراح 71، قال <R. البيرن> [عميد كلية طب جامعة ييل]: «أصابنا القلق من احتمال مواجهة صعوبات لاجتذاب قادة من أصحاب المواهب إلى كونكتكت للعمل في برنامجنا الخاص بأبحاث الخلايا الجذعية.» وقد تمكن هو وغيره من إقناع حاكم الولاية بدعم مشروع القانون الذي يتغاضى عن الأعمال التي تشمل بعض الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، ولتقديم 10 ملايين دولار سنويا لعلوم الخلايا الجذعية. وحتى الآن، وكما صرح <البيرن>، فإن مشروع القانون لم يواجه أي معارضة منظمة لكن يتحتم أن يصل مرحلة التصويت.

إن موضوع الخلايا الجذعية البشرية جديد كليا لدرجة يتعذر فيها العثور على الأشخاص المدربين، الذين يحسنون استعمالها بدقة في تجارب مبتكرة لمعرفة كيفية نموها وتمايزها. ويوجد في الولايات المتحدة على الأكثر بضع عشرات من هؤلاء الأشخاص، هذا ما صرح به البيولوجي <G. كيلر> وهو باحث في الخلايا الجذعية بكلية طب ماونت سيناي في مدينة نيويورك.

ويقول <كريكشتاين> إن التنافس على هؤلاء الأشخاص يزداد بسرعة. فإضافة إلى اجتذابهم دوليا، «تحاول الآن معاهد كثيرة في كاليفورنيا إقامة أو تقوية برامج قائمة. والجميع ينظرون إلى المرشحين أنفسهم مما يرفع تكاليف اجتذاب خيارهم.»

وينتاب <كيلر> قلق من أن «صب المال في حقل لا يمتلك حتى الآن العدد الكافي من الموهوبين سيصبح هدرا وتبذيرا.» ولقد وضع



لقد نجحت الحملة من أجل «الاقتراح 71»، لكن الحملة لدعم أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية مازالت في بدايتها.

(1) bioprocessing

(٢) هو الطب الذي يعتمد على المداواة بالخلايا الجذعية عوضا عن الأدوية التقليدية المستعملة حاليا. (التحرير)

2005

2005/1
صرح العلماء بأن جميع خطوط (أو مشاريع) الخلايا الجنينية البشرية التي وافقت عليها المعاهد الوطنية للصحة، أصابها تلوث بمستضدات غريبة.

اقترح حاكم نيوجيرسي <R. كودي> جمع مبلغ 380 مليون دولار لمعهد للخلايا الجذعية في الولاية.

اقترح عضو مجلس الشيوخ لولاية نيويورك <D. باترسون> إنشاء برنامج للخلايا الجذعية بمبلغ بليون دولار على مدى عشر سنوات.

2005/2
الحّ حاكم ماساتشوستس <M. رومني> على مشرعي الولاية بتجريم كل من ينشئ خطوطا جديدة للبحث في الخلايا الجذعية البشرية.

وأعيد قانون دعم أبحاث الخلايا الجذعية إلى الكونغرس من قبل 186 عضوا من مجلس النواب مع تأييد كبير من مجلس الشيوخ.

2005/3
إنشاء معهد لبيولوجيا الخلايا الجذعية في جامعة كاليفورنيا ـ لوس أنجلوس.

رفضت المحكمة العليا في كاليفورنيا دعويين تعترضان على الشرعية الدستورية للمعهد CIRM.

اقترح مراقب النفقات في إيلينوي إصدار سندات ببليون دولار وفرض ضريبة على عمليات التجميل لتمويل معهد الخلايا الجذعية بالولاية.

2005/4
الغى مجلس شيوخ ميريلاند مشروع قانون وافق مجلس النواب عليه لإنشاء برنامج لأبحاث الخلايا الجذعية بمبلغ قدره 25 مليون دولار سنويا بتمويل من الولاية.

2005/5
وافق المجلس التشريعي لولاية ماساتشوستس بأصوات كافية على مشروع قانون يسمح بإجراء أبحاث على الخلايا الجذعية الجينية، ويبطل مفعول اعتراض متوقع من قبل حاكم الولاية.

2005/8
بدء بناء مركز لأبحاث الخلايا الجذعية بمبلغ 150 مليون دولار في نيوجيرسي.



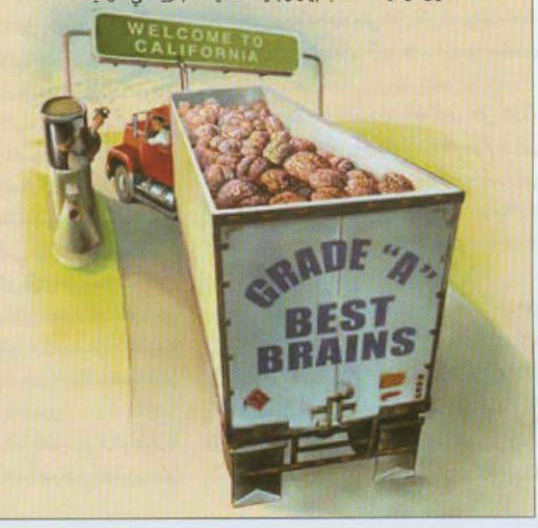
خريف 2005
خطط المعهد CIRM لتقديم أول منحة.

العلميون يتبعون المال[*]

إن هجرة العقول من الولايات المتحدة تتحول إلى تدفق على كاليفورنيا.

في الشهر 2001/1، أعلن الرئيس <بوش> أن البيولوجيين الذين تمولهم الحكومة الفدرالية في الولايات المتحدة سيكون عليهم أن يعملوا ضمن قيود مشددة. وبعد ذلك بفترة قصيرة جمع <R. پيدرسن> حقائبه وشد الرحال نحو المملكة المتحدة. إن <پيدرسن> الذي أكسبته أبحاثه في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو مكانا في حقله يقرب من القمة، نقل مختبره إلى البيئة الأكثر حرية في جامعة كمبريدج.

لقد ثبت أن مغادرة الولايات المتحدة شكلت نقلة مهنية جيدة بالنسبة إلى <پيدرسن>، فقد عينته كمبريدج في عام 2004 رئيسا مشاركا لمعهد جديد للخلايا الجذعية، ميزانيته 30 مليونا من الدولارات. ولم يكن <پيدرسن> المهاجر الوحيد، كما لاحظ <M. راو> [الذي يدير أبحاث الخلايا الجذعية في المعهد الوطني للشيخوخة في الولايات المتحدة]. فقد أشار <راو> إلى كثير من العلماء الذين تركوا مناصب بيولوجية تقانية مجزية في الولايات المتحدة



ليؤسسوا مختبرات مستقرة فيما وراء البحار.

فإذا كان هنالك استنزاف لأدمغة الأمريكيين الباحثين في موضوع الخلايا الجذعية، فإن الإغراء المتمثل بثلاثة بلايين دولار في كاليفورنيا، يبدو أنه قلّب مسار التدفق. «هناك عدد من العلماء البارزين في حقلنا أجروا مقابلات في كاليفورنيا لملء وظائف قيادية،» كما تقول <M. كارپنتر> [وهي رائدة أمريكية في هذا الميدان، انتقلت في خطوة مفاجئة منذ سنتين إلى معهد روبارت للأبحاث في أنتاريو بكندا]. وتضيف: «إن جامعة كاليفورنيا في إرفين تجند الباحثين بطريقة هجومية، وكذلك تعمل ستانفورد.» وقد قررت <كارپنتر> ذاتها العودة إلى الولايات المتحدة لترأس أبحاث الخلايا الجذعية في CyThera، وهي شركة مبتدئة في سان دييگو. ولم تكن الموافقة على الاقتراح رقم 71 السبب الوحيد لعودتها، كما تقول، ولكنه كان عاملا مهما في ذلك.

ففي الواقع، تُغري الولاية الذهبية الكثيرين ممن يعملون في هذا الحقل، بمن فيهم من يعمل في أمكنة أخرى بالولايات المتحدة. ويقول <راو>: «أخذت الأمور تزداد صعوبة في المعاهد الوطنية للصحة فيما يتعلق بتجنيد باحثين جدد، فضلا عن أننا نخسر الكثيرين (الذين يذهبون إلى كاليفورنيا).» إذ إن <A. شيو> [التي كانت ترأس برنامجا للأبحاث في الخلايا الجذعية في المعاهد الوطنية للصحة] غادرت في الشهر 2005/4 لتعمل في المعهد CIRM. كما أن <J. باتي> [المدير الحالي لمعهد الصمم وغيره من اضطرابات الاتصالات] قال بأنه تقدم إلى المعهد CIRM يطلب العمل رئيسا له.

وقد أوضح <راو> بقوله: «ليس بوسعنا المنافسة عن طريق إغرائهم بالمال، وكثير من الناس أصبح فريسةَ القلق حيال توافر الاعتمادات الفدرالية في المستقبل. فأنا نفسي تعرضت للإغراء لألتحق بجوقة كاليفورنيا.»

ومع أن الانجذاب نحو الغرب هو الأقوى فيما يتعلق بالباحثين الكبار، فعلى ما يبدو لم يستثنِ الانجذاب العلماء الشباب أيضا. فقد قال <A. كريكشتاين> [الذي يترأس برنامجا تدريبيا على الخلايا الجذعية في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو]: «لقد عيّنا مجموعة من الطلبة للسنة القادمة. أعتقد أن الاقتراح 71 جعل بعضهم يفضل هذه الجامعة على معاهد في شرق البلاد.»

«تتنافس الولايات المتحدة مع سنغافورا وأستراليا والمملكة المتحدة - فهنالك أيضا موارد ضخمة والقيود أقل بكثير،» كما تقول <كارپنتر>، التي أضافت: «قبل التحاقي بسي تيرا، كنت أعتبر تلك الدول خيارات لي. لا ريب أنها مباراة، وسيكون من دواعي الفضول أن نرى كيف ستنتهي.» ■

<W.W.G.>

<Z. هول> [الرئيس المؤقت للمعهد CIRM] خطة لحل هذه المشكلة بتكريس مجموعة المنح الأولى للمعهد لتدريب المزيد من العلماء، وتأسيس المزيد من المختبرات. (تجدر الإشارة إلى أن القيود التي تفرضها المعاهد الوطنية للصحة تمنع العمل على مشاريع خطوط خلايا بشرية لم تتم الموافقة عليها في أي مختبر تموله الاعتمادات المالية الفدرالية).

ويقول <هول>: «إن القصد هو تشجيع المؤسسات على إنشاء برامج تدريبية متماسكة لعلوم الخلايا الجذعية.» وستتنافس المنظمات على ثماني عشرة جائزة وموعد الإعلان عنها في نهاية عام 2005، وستقدم ما يصل إلى 1.25 مليون دولار في السنة، وفقا لحجم المبادرة التدريبية. ومع أن قسما من الخمسة عشر مليونا في السنة سيخصص لرواتب الطلبة، فإن المنح، كما يقول <هول>، يجب ألا تنفق على برامج الدكتوراه. وأنه لا يمكن لأية كلية الحصول على أكثر من منحة واحدة.

ولكن متى ستبدأ أموال كاليفورنيا بالتدفق لإنجاز علم حقيقي؟ سؤال لن يتمكن <هول> من الإجابة عنه في الوقت الحاضر؛ لأن على الوكالة أولا أن تبدأ بإزالة كثير من العقبات المهمة. فبعد ستة أشهر من ولادة المعهد CIRM ظل بدون مكاتب دائمة، وليس له رئيس دائم، ولا توجد لديه قائمة بأسماء الخبراء الذين سيقومون بمراجعة الأبحاث المقترحة، كما لم يحصل على تفويض بإصدار السندات التي سيسحب ميزانيته من خلالها.

لقد علِّق موضوع السندات بسبب إقامة دعويَيْن قانونيتين طعنتا في شرعية المعهد CRIM. ففي الشهر 2005/3، رفضت المحكمة العليا في كاليفورنيا سماع الدعويين، ولكنها تركت للمدّعين خيار إقامتهما في محاكم أدنى درجة. وقد أقيمت إحدى الدعويين أمام محكمة عليا في الشهر 2005/4 من قبل مجموعتي ضغط تدعيان: **المدافعون عن الشعب** People's Advocates **ومؤسسة الدفاع القانوني عن الحياة** Life Legal Defence Foundation، حيث أكدتا أن المعهد الجديد ينتهك إحدى فقرات دستور الولاية. ويقول أحد موظفي المعهد CIRM إن اللجنة المالية للولاية قد تقبل بإصدار سندات

(*) Scientists Follow the Money

لتمويل المعهد قبل حسم الخلاف القانوني.

وحتى قبل فتح صنبور المال، يستطيع العلماء التقدم بطلباتهم للحصول على منح الأبحاث. ولكن يجب على المعهد أن يشكل هيئة خبراء في موضوع الخلايا الجذعية من خارج كاليفورنيا، تتألف من 15 عضوا مُحكِّما لتقويم مشروعات الأبحاث والحكم عليها، وهذا أمر لا يستهان به. وكثير من الباحثين في هذا الموضوع يجري تجنيدهم للعمل في كاليفورنيا (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*)، مما يخلق بينهم حالة من تعارض المصالح، فضلا عن أن قليلا من المؤهلين قد يقبل بذلك.

ويقول <كيلر>: «لقد طلب إليَّ المعهد CIRM المشاركة في هيئات تحكيم مختلفة.» (ولكن <كيلر> لم يوافق حتى الآن). «فنحن نقوم بمراجعات لحساب المعاهد الوطنية للصحة التي نسحب منها اعتمادات مالية أيضا. وعندما يطلبون إلينا القيام بالعمل نفسه لحساب كاليفورنيا فإنهم لا يسمحون لنا بالمساس بأموالهم... حسنا! إن عدد ساعات النهار محدود.»

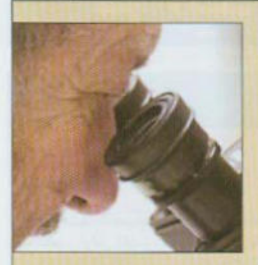
ومن دواعي السخرية أنه في الوقت الذي يزعم فيه باحثو الولاية بأنهم حققوا نجاحات مالية، فإنهم أعدوا أنفسهم أيضا لاحتمال فشلهم السياسي. ومن خلال تأكيدهم على اختراقاتهم الطبية (كما فعل <R. نيكسون> بالنسبة إلى «الحرب ضد السرطان»)، وليس على معالم تقنية مهمة (كما فعل <F. كولنز> في مشروع الجينوم البشري)، فإن حمْلة الاقتراح 71 وضعت رهانا ضخما على نتيجة غير مضمونة.

ويقول <F. كيج> [عالم الأعصاب في معهد سولك Salk]: «نظرا لأن العلم يوضع الآن تحت مجهره الذاتي، فإننا سنكون عرضة للمحاسبة إن لم نتوصل إلى اكتشافات مهمة. ومن الواضح أن هناك توقعا بأن نحقق للولاية منافع مالية وعلاجية قبل نهاية هذا العقد.»

وفي مجال المخاطرة أيضا، هنالك سوابق ذات أهمية على الصعيد الوطني، ذلك أن مبادرة كاليفورنيا تبدو وكأنها حفزت على دعم **قانون تعزيز أبحاث الخلايا الجذعية** the Stem Cell Research Enhancement Act، وهو مشروع قانون وُئِد في الكونغرس الأمريكي في عام 2004، ولكنه بُعِثَ في الشهر 2005/2. وقد وعد الزعماء الجمهوريون بعرض مشروع

شبح لايسنكو(*)

يحذِّر البيولوجي <I. ويسمان> من تكلفة القيود اللاعقلانية.



تتقدم الولايات المتحدة دول العالم في الاكتشافات الطبية الحيوية والتقانات والمعالجات على جميع المقاييس. فقد ولدت في أمريكا تقانات **الدنا** DNA المأشوب للمنابلة الجينية، وأنتجت أعدادا وافرة من الأدوية وأدوات التشخيص بوساطة كينونة تجارية جديدة، هي التقانة الحيوية البازغة.

ففي مرحلة حرجة من التاريخ الأمريكي كادت الحكومات المحلية والفدرالية أن تحظر تقانة الدنا المأشوب. ولكن عوضا عن ذلك، قضت التشريعات الجديدة بأن تتقدم الهيئات الأكاديمية والتجارية البحثية بخططها إلى اللجان الاستشارية الوطنية والمحلية للموافقة عليها، وبذلك ازدهر البحث العلمي. إن هذا النوع من التنظيم الذي يحافظ على جوهر البحث المحرر من أقل تدخل بيروقراطي، والذي أدى إلى حماية العلماء، والمجتمع بشكل ملحوظ، يمكن تسميته الطريقة الأمريكية. وتتقدم الأبحاث الرائدة إلى الأمام في الوقت الذي يراقبها المجتمع باستمرار ويتلقى فوائدها ويترجمها إلى اكتشافات في حقل العناية بالمريض.

ويشهد التاريخ على حماقة التدخلات الجائرة. فقد كان <T. لايسنكو> خارج سرب البيولوجيين عندما أقنع <J. ستالين> خلال أعوام العشرينات من القرن الماضي بأن الداروينية القائلة بالانتقاء الطبيعي هي نظرية خاطئة. ونتيجة لذلك، لم يعد للوراثيات الداروينية مكان في روسيا لعدة عقود؛ بينما ازدهرت الزراعة والطب الأمريكيين إلى حد كبير، وبمساعدة المهاجرين من علماء الوراثة الروس بخاصة. أما الطريقة الروسية في ذلك الزمن فكانت تؤمن بأن الايديولوجية مُقدَّمة على العلم، مما أدى إلى ضياع العلم الصحيح لأجيال كثيرة.

ويلازم شبح الليسنكوئية النقاش في أمريكا حول الخلايا الجذعية؛ ذلك أنه لما كان عزل تلك الخلايا من الجنين يضع حدا لإمكانية زرعه في الرحم، فإن الذين يعتقدون أن أي كيان بيولوجي ينشأ بعد الإخصاب هو كيان بشري، يرون العمل على الخلايا الجذعية أمرا لاأخلاقيا. هذه النظرة تشكل أساس مشاريع القوانين المقدمة من قبل عضو مجلس الشيوخ <S. براونباك> [من كنساس] ومن قبل عضو مجلس النواب <D. ولدون> [ممثل فلوريدا] اللذين يجرمان هذه الممارسة.

وكجزء من السياسة الحالية للإدارة التي تسمح فقط باستعمال خطوط الخلايا الجذعية الممولة من قبل الحكومة الفدرالية قبل الشهر 2001/8، فإن الرئيس <بوش> جعل المنع يشمل إنتاج الخلايا الجذعية **المتعددة الإمكانات** pluripotent المشتقة بوساطة النقل النووي الذي يسميه البعض الاستنساخ العلاجي. إن مشاريع القوانين المقدمة من قبل <ولدون> و<براونباك> التي تجرم هذه الممارسات، تجعل هذه الأبحاث مقتصرة على العلم خارج الولايات المتحدة. وهكذا فقد قلصت الايديولوجية بشكل صارم بناء تقانة لابد منها لتسريع التقدم في مجال البيولوجيا التطورية البشرية، وتفهم أسباب الأمراض البشرية، وتطوير إمكانات مداواتها. (إن مشاريع قوانين <ولدون> و<براونباك> ليست قوانين، لأن تحالفا بين الحزبين في مجلس الشيوخ حال دون مرورها).

تُرى من هو الخاسر من هذا الحظر الفدرالي؟ ليست فقط أبحاث علم الحياة، وليس فقط العلماء الشباب الذين يتمنون قضاء حياتهم في توسيع حدود المعرفة العلمية والمداواة، ولكن قبل هذا وذاك، الخاسرون هم عشرات الآلاف من المرضى الذين كان من الممكن مساعدتهم. فأيهما أسمى على الصعيد الأخلاقي: إنقاذ العالم من «الاستنساخ العلاجي»، أم إنقاذ حياة المرضى؟

ولحسن الحظ، وانسجاما مع حقوقها الدستورية، أقرت كاليفورنيا عام 2002 مشاريع قوانين تشجع أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية والاستنساخ العلاجي وتنظمها. وفي الشهر 2004/11 أقرت الولاية بأغلبية 59 ضد 41 صوتا مبادرة بمبلغ 3 بلايين دولار، تنفقها على هذه الأبحاث خلال عشر سنوات أو أكثر. لقد أخذت كاليفورنيا على عاتقها مهمة تمويل الأبحاث الأساسية بشكل خاص في هذا المجال. ومن ثم، فإن الحدود الزمنية للمداواة هي أساسا ما يجب توقعه إذا كانت المعاهد الوطنية للصحة قد أخذت على عاتقها مهمة تمويل هذه الأبحاث.

إنني لا أشاطر الكثيرين رأيهم بأن تمويل العلم من قبل حكومة الولاية عوضا عن الحكومة الفدرالية يمثل مشكلة جدية. وآمل أن يكون هذا التدخل الحالي الديني والأيديولوجي في موضوع البحث الفدرالي يشكل زيغا عابرا، بيد أن الدروس المستقاة من تجربة <لايسنكو> تعلمنا أن هذا الوضع ربما يدوم مدة طويلة. ■

المؤلف

Irving Weissman

هو أستاذ علم الأمراض والبيولوجيا التطورية في جامعة ستانفورد، ومدير المعهد الجامعي للسرطان وبيولوجية الخلايا الجذعية وطبها. كما أنه المؤسس المشارك للشركتين Stem Cells, Inc. *و*Cellerant, Inc.*، وكلتاهما في بالو التو بكاليفورنيا.*

(*) The Ghost of Lysenko

تزايد معاناة صناعة جديدة(*)

الشركة ES Cell International

شركة طموحة في سنغافورا تحقق «موجودية مُميزة».

برزت الشركة ES Cell Internationl (ESI اختصارا) ومقرها سنغافورا، كأحد أوائل المشروعات التجارية في العالم التي تركز على تطوير خلايا جذعية لأهداف علاجية. لقد تأسست الشركة ESI عام 2000، وسعت إلى اجتذاب الأبحاث الريادية لـ<A. بونگسو> وغيره من الباحثين [في جامعة سنغافورا الوطنية] المتعلقة بتنمية خطوط خلايا جذعية من أجنة بشرية. وكجزء من سعي سنغافورا لتصبح مركزا عالميا للبحث الطبي، وافق مجلس التنمية الاقتصادية الحكومي على تمويل الشركة ESI، وذلك بالتعاون مع بعض أغنياء المستثمرين الأستراليين.

وقد حصلت الشركة عام 2001 على دعم عندما صارت الشركة ESI واحدة من بين المجموعات العشر التي اختارتها المعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة كشركة لديها خلايا جذعية مؤهلة للحصول على تمويل فدرالي بموجب خطة إدارة <بوش> المتعلقة بالخلايا الجذعية. ولكن خطة المشروع التجاري الأصلي للشركة ESI لإنتاج خطوط خلايا جذعية جنينية بشرية وبيعها، وعدت بتحقيق أرباح في «حدودها الدنيا» فقط بحيث لا تتجاوز 300 000 دولار (160 000 جنيه إسترليني) في السنة، كما قال <A. كولمان> [الرئيس التنفيذي الجديد للشركة].

لقد اكتسب <كولمان> شهرة كونه رئيسا لفريق البحث الذي استنسخ النعجة دوللي Dolly في اسكتلندا، وقد انضم إلى الشركة ESI عام 2002 كبيرا لعلمائها، وذلك بهدف تحويل الخلايا الجذعية إلى أنماط خلوية أخرى لمداواة مجموعة من الأمراض. ويتمثل أحد المشاريع المقترحة بمحاولة جعل الخلايا الجذعية تتمايز إلى «جزر» من الخلايا تنتج أنسولينا، يمكن اغتراسها لدى مرضى الداء السكري.

هذا، وتعمل الشركة ESI على نحو وثيق مع ما يقوم به الباحثون في جامعة موناش الأسترالية وجامعة هاداسا الإسرائيلية والجامعة الوطنية في سنغافورا وجامعة أوتريخت الهولندية. وتمتلك الجامعات الثلاث الأولى 18 في المئة من أسهم الشركة. وستكون الشركة ESI صاحبة الحق الوحيدة في العالم لامتلاك أي من براءات الاختراعات التي ستنتج من أبحاثهم. وتطمح الشركة ESI للحصول على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية نحو عام 2010 على منتجات مشتقة من الخلايا الجذعية يمكن بوساطتها مكافحة الداء السكري وأمراض القلب.

وصرح <كولمن> قائلا: «لنا وجود مميَّز،» مشيرا إلى الدعم المادي الذي تقدمه حكومة سنغافورا التي تمتلك 44 في المئة من أسهم الشركة ESI.

ومع ذلك ينتاب <كولمان> قلق يجعله يتساءل فيما إذا كان هذا الدعم سيستمر إلى أن تتمكن الشركة ESI من جني المكاسب التجارية لقاء أبحاثها. ويقول <كولمان>: «ويظهر أن سنغافورا تحول تمويلها للبيولوجيا الطبية في الشركات الجديدة من الأبحاث التطبيقية نحو الأبحاث الأساسية.»

ومع أن الشركة ESI جمعت مبلغ 24 مليون دولار في صورة أسهم استثمارية وقروض منذ عام 2000، إلا أن مصروفها السنوي «يحرق» ما مقداره 3.6 مليون. فالأمر بالنسبة إلى هذه الشركة هو سباق مع الزمن. ■

<L. بيرتون>

هليوس [سنغافورا]

الشركة Geron

إن الشركة التي كانت في السابق عظيمة القوة والنفوذ في مجال براءات الاختراع، تعمل الآن على إنتاج معالجات جديدة.

كانت الشركة جيرون، وقاعدتها كاليفورنيا، مرهوبة الجانب نظرا لقوتها في حقل البراءات. ولامتلاكها - حصرا - حقوق العديد من الخلايا الجذعية الجنينية، التي تم تطويرها في جامعة وسكونسن، فقد اعتقد الكثير من التِّقانات البيولوجية المنافسة أن الشركة قد تقيم احتكارا للخلايا الجذعية.

ففي عام 1999، اشترت الشركة جيرون حقوق تقانة استنساخ النعجة دولي في اسكتلندا، وهي تقانة حازت براءة الحماية من قبل الحكومة البريطانية بعد ذلك بسنة واحدة.

إن الخلاف الذي دار حول امتلاك الشركة جيرون لكثير من براءات الاختراع هدأ عام 2002 فقط، عندما توصلت الشركة وجامعة وسكونسن إلى اتفاقية تحد من حقوق الشركة جيرون في تلك البراءات، وتعد بالسماح لعلماء آخرين بالدخول إلى خطوط الخلية الجذعية.

وما تزال الشركة اليوم تعمل بخسارة - إذ خسرت مبلغ 9.7 مليون دولار (5.2 مليون جنيه إسترليني) خلال الأشهر الثلاثة الأولى من عام 2005؛ وتبخر الخوف من سيطرتها على سوق الخلايا الجذعية. ومع ذلك، ما تزال الشركة جيرون قوة مهمة في ميدان البحث العلمي، ومن المتوقع أن تكون أحد المستفيدين الرئيسيين من تمويل كاليفورنيا لأبحاث الخلايا الجذعية.

عندما تأسست الشركة جيرون عام 1992، كانت إحدى الشركات العامة الأُوَل التي درست الخلايا الجذعية الجنينية. وفي أواخر التسعينات من القرن العشرين، تحول اهتمامها إلى التيلوميراز: مركب تعرفته المجموعة من خلال دراستها للخلايا الجذعية مفتاحا لسيرورة الكِبَر. ومن المعروف أن مستويات مركب التيلوميراز في الخلية تتدنى مع تقدم الإنسان بالعمر. ويأمل علماء الشركة جيرون أن يتمكنوا من مكافحة أمراض (كالايدز والسرطان) عن طريق رفع معدلات مركب التيلوميراز في الجسم. وفي الشهر 2005/3، أسست الشركة جيرون الشركة TA Therapeutics، وهو مشروع تجاري أبرمته مع أحد معاهد البحث العلمي في جامعة هونغ كونغ لتحري تطبيقات مركب التيلوميراز.

منلو بارك [كاليفورنيا]

Growing Pains for the New Industry (*)

وقد تجدد اهتمام الشركة جيرون باستخدام الخلايا الجذعية الجنينية بذاتها للمعالجة. وتتابع الشركة ابحاثها في عدد كبير من الحقول المرضية، منها داء پاركنسون وأمراض القلب والداء السكري والتهاب المفاصل وأمراض الدم وهشاشة العظام وزرع الأعضاء. وعلى الرغم من عدم إجراء اي اختبارات على الإنسان حتى الآن، تقول الشركة جيرون إنها في سبيل مباشرة اختبارات سريرية على أذيات النخاع الشوكي.

ففي الشهر 2005/3، نشرت الشركة بحثا تشرح فيه كيفية تنمية الخلايا الجذعية الجنينية البشرية من دون مساعدة «الخلايا المغذية» feeder cells. وقد استعملت **مُطْعِمَات** feeders مأخوذة من الفئران، لإنماء المجموعات الأولى من الخلايا الجذعية وإكثارها. ونشرت الشركة جيرون في موقعها على الإنترنت بحثا عن طريقة إنماء الخلايا الجذعية الجنينية الأنظف، وذلك في الشهر 2002/9. ولكن كثيرا من الباحثين شكك في نجاعة هذه الطريقة إلى أن نشر بحثها في مجلة «ستم سلز» (الخلايا الجذعية) عام 2005. ■

<V. كريفث>

الشركة Stem Cell Sciences

كانت في أحد الأيام مجرد «شركة افتراضية»، فكبرت خلال عقد من الزمن لتصبح عالميا أقوى شركة في مجال الخلايا الجذعية.

لا بد ان تكون شركة ستم سل ساينسز (علوم الخلايا الجذعية) (SCS)، اكثر الشركات انتشارًا في العالم في مجال الخلايا الجذعية. فلدى هذه الشركة مراكز أبحاث وتنمية في المملكة المتحدة واليابان وأستراليا، وتخطط هذا العام (2005) لتأسيس أعمال لها في الولايات المتحدة. وتعتمد خطة أعمالها الجريئة على أساس الاتجار بالخلايا الجذعية الجنينية البشرية، أولا بقصد بيع منتجاتها كأدوات لأبحاث الصناعة الصيدلانية، ومن ثم لتطوير معالجات معتمدة على أسس خلوية.

لقد أسس <B. ماونتفورد> الشركة SCS في وطنه أستراليا «كشركة افتراضية» عام 1994، وذلك بعد عودته بمدة قصيرة من فترة عمل منتج في اسكتلندا مع <A. سميث> رائد الخلايا الجذعية في ادنبره. وفي عام 2000، أصبح مشروعه شركة حقيقية في ميلبورن، لديها موظفون وباحثون. وفي السنة التالية أسس «ماونتفورد» فرعا يابانيا هو SCS KK في كوبي Kobe، تعاون مع باحثي الخلايا الجذعية في مركز ريكن Riken للبيولوجيا التطورية.

وفي عام 2003، عاد «ماونتفورد» إلى اسكتلندا، وقام بتأسيس المركز الرئيسي للشركة SCS في أدنبره؛ أما <M. دكستر> [وهو بيولوجي في مجال الخلايا الجذعية] والذي أنهى للتو خمس سنوات مديرا للمؤسسة ويلكوم ترست Wellcome Trust، فقد أصبح رئيسا للشركة SCS. وقد اجتذبت اسكتلندا «ماونتفورد» بعد أن برزت كمركز متميز لأبحاث الخلايا الجذعية. واكثر من ذلك كله اجتذبه إمكان العمل مرة أخرى مع «سميث»، الذي كان يدير حينئذ معهد أبحاث الخلايا الجذعية في جامعة ادنبره.

هذا، ويعمل في الشركة SCS مباشرة أربعون موظفا، نصفهم في اليابان، والنصف الباقي موزعون بين اسكتلندا وأستراليا. ومنذ تأسيسها، تمكنت الشركة من جمع خمسة ملايين جنيه إسترليني من مستثمرين، وخمسة ملايين جنيه إسترليني أخرى عن طريق تعاون بحثي وإجازات لصفقات تجارية مع شركات صيدلانية، منها فايزر Pfizer وگلاكسو سميث كلاين GlaxoSmithKline وأڤانتس Aventis؛ على أن التداوي بالخلايا الجذعية يكمن في مستقبل أبعد، مع جعل داء پاركنسون أحد الأهداف الممكنة.

وبينما لا يمتلك «ماونتفورد» إلا الإطراء على ما لقيته شركته من اعتراف الجهات العلمية بها وتشجيع الهيئات الحكومية لها (ومن بينها المنشأة إنتربرايز الاسكتلندية ووزارة التجارة والصناعة البريطانية)، فهو ينتقد المجتمع البريطاني الرأسمالي لإخفاقه في إدراك قيمة الشركة SCS على الأمد البعيد.

ادنبره (اسكوتلندا)

وسوف تركز الدورة التالية للتمويل على المستثمرين الأمريكيين بهدف إنشاء فرع أمريكي، مع احتمال ظهور الشركة على لائحة «السوق البديلة للاستثمارات في لندن» London's Alternative Investments Market. على أن مكان مركز التنمية الأمريكي لم يقرر حتى الآن. ويقول «ماونتفورد» إن الهدف البعيد هو وضعه على لائحة نازداك في مدينة نيويورك، مع أنه يريد إبقاء المركز الرئيسي للشركة في اسكتلندا. ■

<C. كوكسون>

القانون للتصويت في صيف عام 2005. فإذا ما تمت الموافقة عليه ونجا من رفض رئاسي منتظر، فإن هذا القانون سيلغي القيود التي فرضت في الشهر 2001/8 والخاصة بالاعتمادات المالية الفدرالية المخصصة لأبحاث الخلايا الجذعية، وسيعطي الحرية للمعاهد الوطنية للصحة لتنافس المبادرات الخاصة وتلك التابعة للولاية على قدم المساواة. وربما يصبح القانون أيضا بمثابة هبة للمعهد CIRM، لأنه سيسمح للوكالة بإنفاق أقل على البناء والمعدات، وبإنفاق أكثر على العلم نفسه.

وفي النهاية، إذا ما نجح رهان كاليفورنيا ـ سواء سياسيا أو اقتصاديا أو علميا ـ فقد يصبح نموذجا جديدا لتمويل تلك الأنواع من الأبحاث التي تغيظ الأكثرية في بعض أنحاء أمريكا، ولكنها تسحر أكثر الناس في مناطق أخرى من العالم. وربما لا يكون هذا هو الطريق الأكثر كفاية للعمل العلمي، ولكنه قد يثبت أنه الأكثر نفعا. ■

<W.W. گيبس>

الشركة Advanced Cell Technology Holdings

تستمر هذه الشركة البالغة الصغر التي استثارت معركة سياسية حول الاستنساخ العلاجي البشري، تستمر في تسجيل حضور يفوق وزنها.

لطالما حظيت الشركة Advanced Cell Technology Holdings (ACTH)[*] انتباه يفوق حجمها. إن هذه الشركة البالغة الصغر التي تعمل في مجال التِّقانة الحيوية توظف 24 موظفا فقط، محشورين في مكاتب ضيقة في ووستر بولاية ماساتشوستس.

واكتسبت هذه المجموعة سمعة سيئة لعملها المتعلق بالاستنساخ العلاجي البشري. ففي عام 2001 أعلنت الشركة ACTH، كما كانت تسمى وقتذاك، عن استنساخها لجنين بشري عاش مدة قصيرة، مستثيرة معركة سياسية في الكونغرس حول هذا النوع من الممارسة. وفي الشهر 3 أعلنت المجلة العلمية البريطانية «لانست» أن الشركة استنبطت خلايا جذعية جنينية بشرية من دون استعمال خلايا «مُطعمة» feeder cells، في الوقت نفسه تقريبا الذي نشرت فيه الشركة جيرون المنافسة لها مبحثا مماثلا. إن هذا الاختراق مهم، لأن تعريض الخلايا الجذعية لخلايا مطعمة فأرية أو بشرية يلوثها وقد يجعلها غير ملائمة للمداواة الطبية.

وعلى الرغم من الجدل والإثارة المحيطين بعملها العلمي، فإن الشركة ACTH كانت تعمل باستمرار برأس مال ضئيل. وقد اشتكت هيئتها التنفيذية علنا من ضيق ذات اليد، قائلة إنها غالبا ما تجد صعوبة في دفع رواتب موظفيها القلائل.

ولكن باسمٍ وبنية إدارية جديدين، وبخطط حديثة للتوسع نحو كاليفورنيا، تتطلع المجموعة لحياة مشتركة متجددة. ففي الشهر 2005/2، أعلنت الشركة عن «اندماجها المعكوس» تحت غطاء مجموعة تجارية علني، هي الشركة Two Moons Kachinas، التي تأسست عام 2000 في يوتا لبيع دمى تمثل الأمريكيين الأصليين. وقد نسي الناس الدمى التي كان يجمعها الهواة، ولكن الصفقة مكنت الشركة ACTH من تحاشي تكاليف باهظة لإصدار أوراق مالية من البداية.

لقد أصبح للمجموعة رئيس تنفيذي جديد هو <W. كالدويل IV>. أما الرئيس السابق <M. ويست> ـ الذي أسس الشركة جيرون في عام 1998 ثم غادرها ـ فقد أصبح رئيسا لمجلس إدارة الشركة ACTH. وعندما تم الاندماج، تلقت الشركة فيضا من الأموال التي كانت بحاجة ماسة إليها: 8 ملايين دولار من رأسماليين مضاربين ومستثمرين مستقلين. وتأمل الشركة أن يساعدها وضعها الجديد على جمع مبالغ أكبر من المال.

وبينما تقول الشركة ACTH إنها ستبقى في ماساتشوستس، فإنها تخطط لإقامة فرع لإجراء الأبحاث في كاليفورنيا بغية الاستفادة من البرنامج الذي تمت للتو الموافقة عليه لتمويل أبحاث الخلايا الجذعية بثلاثة بلايين دولار.

وُرسيستر (ماساتشوستس)

لقد تأسست الشركة ACTH عام 1994 بهدف استنساخ مواشٍ وحيوانات محورة جينيا تصنع أدوية بشرية في لبنها. ومع أن الشركة لا تزال تعمل على استنساخ الحيوانات، فقد تحول التركيز تحت قيادة «ويست»، إلى أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وتقول الشركة إنها لن تتابع الاستنساخ بغرض التوالد، وإن اهتمامها سينصب على استعمال التقنيات من أجل الطب التجديدي regenerative medicine فقط. ■

<V. كريفث>

قادة الشركات العاملة في مجال الخلايا الجذعية

إي اس إنترناشيونال (ES)
www.escellinternational.com

يحاول <A. كولمان> [الرئيس التنفيذي للشركة ESI] تحريض الخلايا الجذعية كي تنتج «جزرًا» من الخلايا المولِّدة للأنسولين. ويُعرف «كولمان» بأنه أكاديمي ضليع بمهنته التي تتضمن البحث العلمي إضافة إلى مهمات تدريسية في جامعتي أكسفورد ووارِيك، كما أنه يشغل منصب أستاذ الكيمياء الحيوية في جامعة برمنگهام.

جيرون
www.geron.com

يخطط <T. أوكارما> [الرئيس التنفيذي للشركة جيرون] لقيادة شركته في القريب العاجل في إجراء تجارب سريرية على الخلايا الجذعية لمعالجة حالات إصابات النخاع الشوكي. حصل «أوكارما» على الدكتوراه في الطب والدكتوراه في الفلسفة من جامعة ستانفورد.

ACT هولدينكز
www.advancedcell.com

حول <M. ويست> [رئيس مجلس الإدارة] تركيز الشركة نحو أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية. حصل «ويست» على درجة الماجستير في البيولوجيا من جامعة أندروز عام 1982، وعلى الدكتوراه من كلية طب جامعة بايلور عام 1989. وقد تنازل «ويست» مؤخرا عن منصب الرئاسة التنفيذية إلى <W. M. كالدويل IV>.



ستم سل ساينسز
www.stemcellsciencesltd.com

يرعى <P. ماونتفورد> خطة تجارية لتسويق الخلايا الجذعية الجنينية، أولا كأداة للبحث العلمي، ويعدها كطريقة للمداواة أساسها هذه الخلايا. حصل «ماونتفورد» على الدكتوراه من جامعة ميلبورن، وكان زميل Endeavor الجمعية الملكية (لندن) في جامعة أدنبره، وهو مخترع لتقانات تم تبنيها على نطاق واسع في أبحاث الخلايا الجذعية.

(*) ACT Holdings: شركة تهتم بتطبيق تقنيات الخلايا الجذعية. (التحرير)

خلية عصية على المستثمرين(*)

إن المضاربين VCs يدركون تماما الإمكانات الكبيرة للخلايا الجذعية، ومع ذلك فإن أسبابا كثيرة تجعلهم يترددون في الاستثمار في هذا المجال.

ليست أبحاث الخلايا الجذعية المجال الأكثر تسييسا في تاريخ العلم فقط، ولكنها أيضا من أكثرها تعقيدا وتثبيطا للهمم. فمع أن للخلايا الجذعية الإمكانات لتوفير المعالجة لعدد كبير من الأمراض، فقد ثبت أن من الصعوبة بمكان اجتذاب الاستثمارات اللازمة لتطويرها.

نكثير من المضاربين Venture Capitalists (VCs) يقارنونها بالأضداد الوحيدة النسيلة، التي استغرقت ترجمتها من أبحاث أساسية إلى منتجات تسويقية عشرين عاما. وكما لاحظ <L. كيبل> [الشريك في الشركة SV لعلوم الحياة في سان فرنسيسكو] قائلا «مع أن الأمل بنجاح الأضداد الوحيدة النسيلة كان واضحا، فإن المضاربين الذين استثمروا في مرحلة مبكرة من هذه الأبحاث، خسروا جميع ما يملكون.»

هذا لا يعني أن شركات الخلايا الجذعية عديمة الجاذبية كليا. ففى أول طرح للاكتتاب في أسهم شركة للتقانة الحيوية عام 2005، جمعت الشركة Via Cell, Inc.[1] المختصة بخلايا الحبل السري الجذعية 52.5 مليون دولار.

وفي الوقت الذي تم فيه تداول أسهم الشركة في البورصة، كانت إيراداتها السنوية قد حققت 36.8 مليون دولار، جاءتها من ربع حفظ دم الحبل السري في بنك الدم، إضافة إلى ربع خلايا الحبل السري الجذعية في العيادات، واحتمال تأسيسها شراكات مع الغير. ولكن هناك قليلا من الفرص المشابهة، حيث يقلل تدفق الإيرادات القوي من المخاطر الكامنة في علم الخلايا الجذعية.

«تعد الشركة فيا سل (VC) مثالا على كيفية شعور كثير من المضاربين (VCs) بمخاطر الاستثمارات في الخلايا الجذعية،» هذا ما قاله <D. بولارد-نايت> رئيس شركة مشروعات نومورا ـ المرحلة الرابعة Nomura Phase 4 Ventures، وهي الذراع الاستثمارية لبنك نومورا إنترناشيونال plc، الذي كان أحد الداعمين الرئيسيين لرأس المال المُخاطر في الشركة ViaCell. ويضيف: «ما عليك إلا أن تنظر إلى الأعداد. لقد استثمر المضاربون (VCs) 300 مليون دولار حتى الآن في شركات الخلايا الجذعية ككل، مقابل 20 بليونا في برامج التقانات الأخرى.»

فمن نواح عديدة، يعود ذلك إلى الطبيعة التمهيدية للعلم. ويقول <S .G. بوريل> [الرئيس التنفيذي لبوريل وشركاه في سان فرانسيسكو (بنك تجاري يختص بعلوم الحياة)] إن تمويل المضاربين VCs لشركة للخلايا الجذعية يعني حاليا أنه تمويل لأبحاث أساسية تقوم بها عادة مختبرات أكاديمية. ويضيف قائلا: «لقد بدأنا نرى بعض خطط مشروعات تجارية لشركات الخلايا الجذعية، ولكننا ما نزال في نهايتها العلمية.»

إن هذا النقص في الأبحاث الأساسية يخلق مخاطر أساسية، لأنه لا يتضح حتى الآن إلى أين يمكن أن تعود الملكية الفكرية. يقول <P. ماكَوبين> [رئيس المشروعات التجارية المخاطِرَة في BTG plc بلندن]: «في النموذج المعاصر، عندما تجري مسحا للبحث عن مستقبل ما، وتعثر على ما تبحث عنه، فإن ذلك يُعدُّ ملكية فكرية مبتكرة. ولكن عندما تحرض الخلايا الجذعية على التمايز، فلا يمكنك التنبؤ بهوية صاحب الملكية الفكرية التي قد تصادفه.»

يطلع <B. كير> [مدير الشركة Scottish Equity Partners (SEP) في كلاسكو] على جميع الفرص المتاحة في علوم الحياة والموجودة في اسكتلندا، ويتفحص مئات المشاريع التجارية كل سنة. وعلى الرغم من السمعة العلمية المتميزة التي تتمتع بها اسكتلندا في هذا المجال، فإن الشركة SEP لم تبدأ بعد بتمويل أي من شركات الخلايا الجذعية. ويعترض <كير> بأن الأمر لا يتعلق فقط بأن العلم لا يزال في مراحله التمهيدية، بل إن خطط المشروعات التجارية بحد ذاتها تشتمل على مخاطر كبيرة.

«تتطلب الأعمال التجارية مزيدا من الحنكة في كيفية التحكم في المخاطر،» كما يقول <كير>. فالخلايا الجذعية لم تتطور بعد لتصبح برنامجا. وكثير من الشركات يركز على دواء واحد لمرض معين. «إنك لا تدعم شركة علمية تقليدية، تمتلك منتجا واحدا فقط،» كما يقول <كير>.

وإضافة إلى ذلك، يعتقد <كير> بأن عائقا إضافيا برز في أوروبا، حيث تعطل محرك التمويل. فبعد الازدهار والإخفاق اللذين حققتهما الجينوميات، استمرت الأسواق العامة في تجنب التقانات الحيوية، وأجبرت المضاربين VCs على تمويل الشركات لمدد أطول. ويقول <كير>: «من المستحيل تقريبا أن تربح في أوروبا من الجولة الاستثمارية الأولى في أي نوع من أنواع التقانة الحيوية.»

ويختلف الوضع في أوروبا عن أستراليا، حيث إن عددا من شركات الخلايا الجذعية أصبحت تظهر على قائمة سوق الأسهم المالية. ولكن <A. كوتس> [مدير بنك الاستثمار eG Capital في سيدني] يقول إن هذا الاتجاه يميل إلى أن يكون مرحلة مبكرة. ويضيف قائلا: «أعتقد أن أستراليا فريدة في هذا المضمار. فبينما تكثر الانتقادات الموجهة إلى سوق الأسهم الأسترالية، الذي يدع الشركات تظهر على قائمته في وقت «أبكر مما يجب» ـ وفي مناسبات كثيرة، حيث لم يسبقها أي تجارب سريرية على أي منتج ـ فلقد كانت هذه هي الآلية الأولى لتمويل كثير من العلوم المهمة التي ننتجها هنا والتي أخذت باجتذاب شركات عالمية.»

فقد تحظى الشركات الناشئة في مجال الخلايا الجذعية بآذان صاغية من قبل الشركة Bio* One Capital، الذراع الاستثمارية لمجلس

لقد بدأنا نرى بعض الخطط لأعمال تجارية لشركات الخلايا الجذعية، لكننا مازلنا في المرحلة العلمية من تلك الخطط.

(*) Though Cell to Investors

(1) شركة يقتصر اهتمامها على المرحلة السريرية للتقانة الحيوية، التي تمكنها من تطبيق الخلايا البشرية كدواء، وهي تقود أبحاث خلايا دم الحبل السري، ولا تزال في المرحلة الأولى من تجاربها السريرية؛ وقد أشاعت بأن دراستها ما قبل السريرية دلت على أن الخلايا الجذعية لدم الحبل السري تحسن أداء العضلة القلبية. (التحرير)

«وما عليك إلا أن تنظر إلى الأرقام. لقد استثمر المضاربون VCs نحو 300 مليون دولار حتى الآن في أبحاث الخلايا الجذعية مقابل استثمارهم عشرين بليونا في المجالات التقانية الأخرى.»

<D. بولارد - نايت>

سنغافورا للتنمية الاقتصادية SEDB، حيث يقول رئيسه التنفيذي <Y. S. تشو>: «إن إمكانات أبحاث الخلايا الجذعية ضخمة جدا، بحيث لا تسمح لنا بتجاهلها. ولقد أدركنا أننا بحاجة إلى اتباع مقاربة الأمد الطويل في هذا الحقل.» على أن الشركة بيو ون كابيتال تقلل من المخاطر المتوقعة بالاستثمار في شركات في مراحل مختلفة من تطورها، وبمشروعات بحثية متباينة، وبطرز متنوعة من الأعمال التجارية.

إن توقعات الجمهور بمقدرة الخلايا الجذعية على توفير الشفاء من **الأمراض التنكسية** degenerative diseases و**الرضوح** trauma الوخيمة، فاقت كثيرا ما يستطيع العلم إنجازه، وذلك بسبب الدعاية التي حظيت بها اختبارات استخدمت فيها الخلايا الجذعية البالغة على نطاق محدود.

وعلى الرغم من وضوح فعالية هذه الخلايا البالغة فإنها لا تجذب المستثمرين. «إن أكثر الناس يتكلمون عن اغتراس الأعضاء الذاتي، مستعملين خلايا أخذت من المرضى ذاتهم. ولكن من وجهة نظر الاستثمار لا مجال لأخذها بعين الاعتبار. ومن الصعب أيضا على إدارة الغذاء والدواء الأمريكية أن تضبطها، ففي كل مرة تختلف الخلايا عن سابقاتها.»

فبينما لا يزال أمامنا الكثير من بذل الجهد، فإن للخلايا الجذعية الجنينية الإمكانات لأن تنتج وفقا لمعايير مؤسسة كود مانيوفاكشترينك براكتس[1] Good Manufacturing Practice.

إن أحد المضاربين VCs الذي يمتلك خبرة عميقة فيما يتعلق بصعوبات إنتاج خطوط خلوية جذعية يمكن أن تصبح تجارية، هو السير <C. إيفانس> [مؤسس ورئيس الشركة Merlin Biosciences (ميرلين للعلوم الحيوية) في لندن]. لقد رصدت الشركة ميرلين 250 000 جنيه إسترليني (460 ألف دولار) كرأسمال أولي في الشركة ReNeuron Ltd. (RN)، وذلك عند تأسيسها عام 1997، ثم أتبعتها بخمسة ملايين جنيه إسترليني بعد سنة. وقد تم إشهار الشركة في الشهر 2000/11، وجمعت 19.5 مليون جنيه إسترليني، وأصبحت الشركة الأوروبية الوحيدة التي يعتدّ بها فيما يتعلق بالخلايا الجذعية.

ولكن الشركة RN اضطربت من جراء حدوث مشكلات وراثية سبّبها عدم استقرار خطوطها الجذعية العصبية الجنينية. وفي عام 2003 أخرجت شركات ميرلين Merlin Consortium أعضاءها المستثمرين من وضعهم المالي المزري بتوظيفها مبلغ 3.6 مليون جنيه إسترليني، كي تعود الشركة RN شركة خاصة مرة أخرى.

ومنذ ذلك الوقت تغلبت الشركة على مشكلات الخطوط الخلوية، وهي تسعى من أجل الحصول على اعتراف قانوني (إما في الولايات المتحدة أو بريطانيا)، لكي تقوم باختبار سريري.

هذا وصرح <إيفانس> قائلا: «كان علينا أن ننفق على أعمال تتم عادة في المختبرات الأكاديمية. ولكن إذا عادت الشركة RN إلينا اليوم لدعمناها مرة أخرى.»

هذا ما أهّله لإنشاء المؤسسة S.C.F. (مؤسسة الخلايا الجذعية)؛ وهي مؤسسة خيرية صُممت لسد الفجوة بين البحث الأكاديمي ومنتصف مرحلة الاختبارات السريرية. وكما قال <إيفانس>: «فخلال ثلاث سنوات، يجب أن يصبح لدينا من 10 إلى 15 مشروعا سريريا أو قريبا من ذلك. وقياسا على معدل الجهد العادي، سينجم عن ذلك نجاحان أو ثلاثة، وعندها سنحظى «باستثمارات خاصة» وستتدفق الأموال إلينا.» وأضاف: «إن المؤسسة تشكل حافزا يدفعنا لتكوين ظاهرة نادرة في موضوع الخلايا الجذعية.»

ويتطلع <إيفانس> لإطلاق المؤسسة والنهوض بها قبيل بداية تدفق الأموال من «اقتراح كاليفورنيا 71» وغيره من مشاريع الخلايا الجذعية الأمريكية التي تمولها الولايات المتحدة، الأمر الذي سيؤدي سريعا إلى هجرة الباحثين في الخلايا الجذعية من بريطانيا إلى الولايات المتحدة.

وحقيقة أن كاليفورنيا تخصص، مثل غيرها من الولايات، ميزانيات لأبحاث الخلايا الجذعية، تلقي الضوء، على عقبة أخرى في طريق التسويق التجاري. ومن الأشياء الاستثنائية فيما يتعلق بالمواد الطبية ما يحيط بها من غموض نظرا لتعذر إيجاد نظام موافقة موحد لبيع علاجات الخلايا الجذعية في جميع أرجاء الولايات المتحدة، أو فيما إذا كانت الولايات التي حظرت أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية، ستحظر أيضا بيع المنتجات المشتقة منها.

وليست الحال في أوروبا بأفضل من ذلك، إذ يسود هناك خليط من الأنظمة المختلفة، التي يعمل معظمها ضد أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية.

وتقول <C. بريسكوت> [المديرة العلمية للمؤسسة ABV[2] في كمبريدج/ المملكة المتحدة]: «إن أهم ما في القضية الآن هي الناحية التنظيمية، ففي أوروبا تطبق القوانين الوطنية، أما في الولايات المتحدة فلكل ولاية موقف يختلف عن الأخرى. ولذا، فهنالك سوق مجزأة.»

إن أكثرية شركات التقانة الحيوية تعتمد على إبرام اتفاقات مع الشركات الصيدلانية الكبرى، وذلك لتجعل منتجاتها تمر من المرحلة الأخيرة للاختبارات السريرية، ومنها إلى السوق.

وتقول <بريسكوت>: «إن السوق المجزأة تجعل الخلايا الجذعية طرازا صعبا جدا للعملية التجارية، وذلك فيما يتعلق بالصناعة الصيدلانية الكبرى، فإذا لم تستطع التقانة الحيوية الحصول على شركاء، فكيف تعمل كي تنهض.»

ومما لاشك فيه أن المضاربين VCs يتخوفون من الناحية الأخلاقية وما يتبعها من الأنظمة المحيطة للخلايا الجذعية. إن الكثير من الشركات الكبرى في أمريكا الشمالية وأوروبا لم ترغب بإجراء مقابلات لكتابة هذه المقالة، في حين كان بعضها الآخر على استعداد لمناقشة التحدي العلمي في مجال الخلايا الجذعية ولكن ليس كل ما يتعلق بهذا الموضوع.

هذا، وسيغير «الاقتراح 71» المواقف، كما يعتقد <بوريل> [من شركة بوريل]. ويضيف قائلا: «إن علم الخلايا الجذعية في الوقت الحاضر ملطخ بشوائب عديدة. وسيضفي «الاقتراح 71» الشرعية على كثير من الأبحاث في الولايات المتحدة، تلك الأبحاث التي تبدو غير قابلة للاستثمار في ظل التوجيهات الفدرالية الحالية.» ■

<N. موران>
مراسلة المجلة Bio World *في بريطانيا*

«تتطلب الأعمال التجارية مزيدا من الحنكة كي تتمكن من التحكم في الأخطار، إذ إنك لا تدعم في هذه الحالة شركة علمية تقليدية لا تمتلك سوى منتج واحد.»

<B. كير>

(1) شركة تصنع منظومات وأجهزة تساعد على مراقبة الجودة في الصناعة الدوائية، كما تهتم بوضع قواعد لوسائل الأمان.
(2) Avlar Bio Ventures

البحث عن خلايا شافية(*)

يطالب <I. ويلموت> (مستنسخ النعجة دولّي) بتجاوز ما هو مثير للجدل وبالتركيز على ما هو مفيد في نهاية المطاف.

لقد توافرت فرص نادرة لدراسة الأمراض البشرية ومعالجتها عن طريق القدرات المكتسبة لاشتقاق خلايا جذعية من الأجنة البشرية. وبالنظر إلى أن هذه الخلايا تكوّن جميع النسج التي تشكل الإنسان البالغ، فإنها توفر فرصة لدراسة التنامي السوي للإنسان في المختبر، ولتعريف الشذوذات المرافقة للأمراض الوراثية، وربما (عاجلا أم آجلا) لمعالجة الأمراض التي لا يوجد لكثير منها حاليا علاج فعال.

لنعتبر ثلاث حالات فقط من بين كثير منها: خلايا مشتقة من خلايا الجنين يمكن استعمالها لإصلاح أذيات النخاع الشوكي. وليس من الواضح بدقة نمط الخلايا التي يجب استعمالها ولا عدد الخلايا اللازمة ولا المكان الذي يجب وضعها فيه. ومع ذلك، فإن المعالجة السريعة قد تؤمن فائدة حقيقية.

وستوضح الخلايا المأخوذة من جنين مستنسخ الآلية الجزيئية التي تسبب الأمراض الوراثية، مثل **التصلب الجانبي الضموري**(1) (المعروف في بعض البلدان بمرض العصبون الحركي)، مما قد يسمح لنا للمرة الأولى بدراسة سيرورة هذه الأمراض في أدق تفاصيلها. وأهم من ذلك مسح آلاف المركّبات، التي قد تفضي إلى إيقاف التنكس أو حتى عكسه.

وفي النهاية، قد يصبح بالإمكان تصحيح الأمراض الوراثية لدى الأطفال. فلو أن طفلا يفتقر إلى الاستجابة المناعية للعدوى (للخمج)، نظرا لوجود خطأ في إحدى جيناته النوعية، عندئذ يمكن تصحيح الخطأ في خلايا مشتقة من جنين مستنسخ، ويمكن لها أن تتحول عندئذ إلى خلايا نقي العظم، التي تؤمن حينئذ الاستجابة المناعية الغائبة. ويمكن عندئذ إعادة خلايا النقي المصحّحة إلى الطفل.

من الواضح أن نجاح المعالجة بالخلايا الجذعية الجنينية سيتوقف على الأبحاث المفصلة، التي قد تستغرق عدة سنوات، وربما عقودا كثيرة، حتى يتم نقل هذه الأفكار إلى الممارسة في العيادة السريرية. ومع مرور الزمن، فإن الخلايا الجذعية المشتقة من جَنين ستحدث ثورة في كثير من المجالات الطبية، ومع ذلك فإن المجتمع مازال يتردد.

وفي النقاش الدائر حول البحث في الخلايا الجذعية، يواجه الباحثون الكثير من المواضيع الحرجة. فبعض الناس يرون أن فكرة إنتاج الجنين البشري واستعماله هي فكرة غاية في العدائية، ومع هذا يجب الاعتراف بوجهة نظرهم المخلصة هذه. ومع ذلك، فإن قسما كبيرا من الناس لا يشاركون في هذا الارتياب. فالجنين المبكر الذي اشتقت منه الخلايا الجذعية هو كرة من الخلايا، يقل حجمها عن حبة رمل. ومع أن لهذه الكرة إمكانية أن تصبح شخصا، لكن تنقصه الصفات البشرية الأساسية ليكون مدركا وواعيا.

وثمة حاجة ملحة إلى إجراء نقاش واع حول ما نعتبره صفات بشرية حاسمة، كما جرى نقاش مشابه بالنسبة إلى نهاية الحياة، عندما اتخذ أول قرار بأخذ أعضاء من ضحايا الحوادث الذين أصيبوا بالموت الدماغي وبقيت لديهم أعضاء حية.

إن إمكانية الحصول على فوائد من الخلايا الجذعية يجب أن تبعث التفاؤل الذي يحدّ منه اعترافنا الصريح بأنه مازال علينا أن نتعلم الكثير الكثير عن الخلايا الجذعية الجنينية. ولكن مما يؤسف له أن الوقت اللازم لتطوير المعالجات السريرية سيكون أطول مما يقبله عادة أصحاب المشاريع الاستثمارية، ويبدو من المرجح أن تكون هنالك حاجة إلى إقامة شراكة بين مصادر التمويل الحكومي ورأس المال الخاص.

إن جميع الذين يعرفون أو يهتمون بشخص مصاب بمرض وراثي أو تنكسي، يدركون بصورة جيدة، الحاجة الملحة إلى علاج جديد. ويجب أن يستثيرنا وجود تلك الفرصة عوضا عن أن تخيفنا. ■

(*) The Search for Cells That Heal

(1) amyotrophic lateral sclerosis مرض عصبي يصيب العصبونات الحركية للأطراف العلوية والسفلية بين سن 40 و 70، ويحدث تنكسا في الدماغ والحبل الشوكي. ومن أعراضه المبكرة ضعف بدون ألم في اليد والقدم والساعد والساق، وصعوبة في البلع والمشي. (التحرير)

المؤلف

Ian Wilmut

أستاذ علم التوالد في جامعة أدنبرا باسكتلندا، وعالم زائر في معهد روزلين.

